

Untersuchungen zur Bestimmung der Körperzusammensetzung wachsender Ziegenlämmer *in vivo* mit Hilfe der D₂O-Verdünnungsmethode

Von der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin

zur Verleihung des akademischen Grades
„Doktor der Agrarwissenschaften“
(doctor scientiarum agrariarum, Dr. sc. agr.)

genehmigte Dissertation^{x)}

vorgelegt von
Dipl.-Ing. agr. Ulla Treitel
aus Berlin

Berlin 1998

x) gem. Ordnung für die Promotion zum Doktor der Agrarwissenschaften (Dr. sc. agr.) an der Technischen Universität Berlin vom 2. Oktober 1978 in Verbindung mit dem Gesetz zur Fusion der Fachbereiche Veterinärmedizin, Lebensmitteltechnologie und Agrarwissenschaft in Berlin (Fusionsgesetz - FusG) vom 23.6.1992

II

Promotionsausschuß:

Vorsitzender: Prof. Dr. Uwe-Jens Nagel, Humboldt-Universität zu Berlin

Berichter: 1. Prof. Dr. Kurt J. Peters, Humboldt-Universität zu Berlin
2. Prof. Dr. Andreas Susenbeth, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Dekan: Prof. Dr. h. c. mult. Ernst Lindemann

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 06.02.1998

Kurzfassung

Die Anwendbarkeit der Verdünnungsmethode mit Hilfe des Markers Deuteriumoxid (D_2O) zur in vivo-Erfassung der sich ändernden Körperzusammensetzung wurde an 53 Ziegenlämmern der Rasse Bunte Deutsche Edelziege im Gewichtsabschnitt von 4 kg bis 20 kg LM überprüft. Bei einer Lebendmasse von 4, 8, 12, 16 bzw. 20 kg wurde den Tieren nach einer 13- bis 18stündigen Nüchternung D_2O injiziert und nach weiteren vier bis fünf Stunden Blutproben gezogen. Bei jeweils einem Teil der Tiere erfolgte anschließend die Schlachtung und die chemische Analyse der Körper zur Bestimmung des Ganzkörperwassergehaltes, der Chymusmasse und der Leerkörperzusammensetzung.

Die Messungen der D_2O -Konzentrationen in den Blutproben und die chemische Analyse der Ganzkörper ergaben eine Überschätzung des Ganzkörperwassergehaltes durch die Verdünnungsmethode um im Mittel 3,99 %. Zwischen dem chemisch bestimmten und dem geschätzten Wert besteht eine enge lineare Beziehung.

Die Schätzung des Inhaltes des Gastro-Intestinaltraktes (Chymus) dient zur Schätzung der Leerkörpermasse. Dessen Variabilität lässt sich im Wesentlichen durch die Lebendmasse erklären.

Die chemische Analyse der Tierkörper zeigte, dass die Zusammensetzung des fettfreien Leerkörpers im hohen Maß von der Leerkörpermasse abhängt. Anhand von allometrischen Regressionsgleichungen wurden die Bestandteile der fettfreien Leerkörpermasse geschätzt und daraus die Zusammensetzung des fetthaltigen Leerkörpers ermittelt. Der Vergleich der mittels chemischer Analyse bestimmten bzw. der Verdünnungsmethode geschätzten Leerkörperzusammensetzung ergab eine hohe Übereinstimmung beim Wasser-, Rohprotein- und Rohaschegehalt. Der Rohfettgehalt wies dagegen größere Abweichungen auf. Als Ursache wurde die Streuung der geschätzten Chymusmasse bzw. Chymuswassermasse aufgedeckt.

Das Fazit ist, dass sich die D_2O -Verdünnungsmethode zur in vivo-Bestimmung der sich ändernden Körperzusammensetzung von Ziegenlämmern im Gewichtsabschnitt von 4 kg bis 20 kg LM eignet.

Ziegenlämmer, Verdünnungsmethode, D_2O , Deuteriumoxid, in vivo, Wachstum, Körperzusammensetzung, Leerkörper, Leerkörperzusammensetzung, Ganzkörperwassergehalt, Chymus, Kot-Harn-Gemisch

Abstract

On young goats (breed Bunte Deutsche Edelziege) with a live weight range of 4 kg up to 20 kg the suitability of the dilution method using the marker deuterated water (D_2O) was checked in order to measure the changes of body composition during growth on living animals (in vivo). At a live weight of 4, 8, 12, 16 and 20 kg the animals received an intravenous dose of D_2O after a fastening time of 13 to 18 hours. Blood samples were taken after a waiting period of 4 to 5 hours. In connection with the last blood sample in each period a part of the animals were slaughtered to determine the total body water content, the digesta mass and the empty body composition by chemical analysis.

The determination of the marker concentration in the blood samples and the chemical analysis of the total bodies showed that the dilution method overestimated total body water content by 3,99 %. There is a close linear relationship between the estimated and the chemically determined content of total body water.

The estimation of the digesta mass serves for the estimation of the empty body mass. Its variation mainly depends on the live weight.

The chemical analysis of the animal bodies revealed that the composition of the fat-free empty body is mainly dependent on the empty body mass. Using allometric equations the components of the fat-free empty body mass were estimated and thus the composition of the empty body could be calculated. The comparison of the chemically determined components with the estimated components of the empty body showed a high agreement concerning the content of water, protein and ash. However estimation of the fat content is less accurate. The reason is the variation of the estimated digesta mass and the digesta water mass.

It can be concluded that the dilution technique using deuterated water is a practicable method to determine in vivo the changing body composition of growing kids with a live weight range of 4 kg up to 20 kg.

Goat kids, dilution method, D_2O , deuterium oxid, in vivo, growth, body composition, empty body, empty body composition, total body water content, digesta mass, faeces and urine

Meinen Eltern

D a n k s a g u n g

Es bedarf der Mitwirkung von etlichen Seiten, um ein Promotionsvorhaben erfolgreich durchzuführen. Allen voran möchte ich daher Herrn Prof. Dr. Kurt J. Peters für die Überlassung des Themas sowie Frau Dr. Irmgard Immig und ihm für die gemeinsame Betreuung danken. Zu besonderem Dank bin ich dem zweiten Berichterstatter, Herrn Prof. Dr. Andreas Susenbeth, verpflichtet, der mir jederzeit mit sehr konstruktiven Gesprächen zur Seite stand. Wertvolle technische Unterstützung erfuhr ich durch Frau Monika Heller und ihre Kolleginnen bei der Betreuung der Tiere und den umfangreichen Laborarbeiten. Frau Brigitte Koehler, Universität Hohenheim, hat mir wesentlich den Einstieg in die Analysen des Probenmaterials erleichtert und mich beim Aufbau einer Sublimationsanlage beraten. Unbürokratische Hilfe wurde darüber hinaus durch Herrn Prof. Dr. Klaus Männer und seine Mitarbeiter an der FU Berlin geleistet, die mir ihre Ausrüstung für die Probenaufbereitung zur Verfügung stellten. Während der statistischen Auswertung der Daten erhielt ich nachhaltige Unterstützung durch Frau Liselotte Nowak und Frau Ilona Körnicke, die sich wiederholt, auch kurzfristig, meiner Anliegen annahmen. Doktoranden-Kollegen, Mitarbeiter des Institutes und der Versuchsstation Dahlem haben ebenfalls zur Lösung von Detailfragen beigetragen. Allen, die mich in der Zeit der Promotion begleitet haben, möchte ich an dieser Stelle meinen herzlichen Dank für ihre Hilfestellung und nicht zuletzt auch für ihre Geduld aussprechen.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	III
Abstract	IV
Abkürzungsverzeichnis und Definitionen	XIV
1 Problemstellung und Zielsetzung.....	1
2 Literaturauswertung	3
2.1 Veränderung der Körperzusammensetzung während des Wachstums.....	3
2.2 Methoden der chemischen Analyse und der in vivo-Bestimmung der Körperzusammensetzung.....	4
2.2.1 Schlachtung, Aufbereitung und Analyse der Tierkörper	4
2.2.2 In vivo-Methoden	5
3 Material und Methoden	32
3.1 Untersuchte Tiere	32
3.2 Merkmalerhebung	34
3.2.1 Lebendmasseentwicklung.....	34
3.2.2 Bestimmung des Ganzkörperwassergehaltes anhand der D ₂ O- Applikation	34
3.2.3 Erfassung des ausgeschiedenen Kot-Harn-Gemisches zur quantitativen Bestimmung der D ₂ O-Ausscheidung.....	36
3.2.4 Merkmalerhebung bei der Schlachtung.....	36
3.3 Analysen	38
3.3.1 Aufbereitung der Schlachtfractionen; chemische Analyse zur Berechnung der Leerkörperzusammensetzung und des Ganzkörperwassergehaltes	38
3.3.2 Messung der D ₂ O-Konzentrationen; Berechnung des Ganzkörperwassergehaltes anhand der D ₂ O-Messergebnisse (in vivo)	41
3.4 Statistische Auswertung	44
3.5 Vergleichende ökonomische Bewertung der Verdünnungsmethode und der chemischen Analyse	49

4	Ergebnisse	50
4.1	Energieaufnahme	50
4.2	Entwicklung der Lebendmasse	51
4.3	Chemisch bestimmter Ganzkörperwassergehalt.....	53
4.3.1	Massen und Wassergehalt von Kopf, Fell und Füßen	53
4.3.2	Zusammensetzung der Leerkörpermasse.....	56
4.3.3	Chymusmasse und Wassermasse im Chymus	62
4.3.4	Chemisch bestimmter Ganzkörperwassergehalt.....	67
4.4	D ₂ O-Konzentrationen und –Massen; <i>in vivo</i> bestimmter Ganzkörperwassergehalt.....	68
4.4.1	D ₂ O-Konzentrationen in den Blutproben.....	68
4.4.2	D ₂ O-Konzentrationen im Chymus	69
4.4.3	D ₂ O-Konzentrationen im Kot-Harn-Gemisch (KHG)	71
4.4.4	D ₂ O-Gehalt des Wassers von Kopf, Fell und Füßen.....	73
4.4.5	<i>In vivo</i> bestimmter Ganzkörperwassergehalt	73
4.5	Vergleich des mittels D ₂ O geschätzten mit dem anhand der Ganzkörperanalyse erfassten Ganzkörperwassergehalt	74
4.6	Beziehung zwischen dem Ganzkörperwassergehalt und der Leerkörperzusammensetzung	79
4.7	Beurteilung der Aussagegenauigkeit der Verdünnungsmethode.....	83
4.8	Vergleichende ökonomische Bewertung der Verdünnungsmethode und der chemischen Analyse	90
5	Diskussion.....	92
5.1	Einflussfaktoren auf den <i>in vivo</i> bzw. mittels chemischer Analyse bestimmten Ganzkörperwassergehalt bzw. auf die Ganzkörperwassermasse	92
5.1.1	Tierphysiologische Einflussfaktoren	94
5.1.2	Methodisch bedingte Einflussfaktoren	98
5.2	Einflussfaktoren auf die Schätzung der Leerkörpermasse und deren Zusammensetzung	103
5.2.1	Schätzung der Chymusmasse und der Chymuswassermasse	103
5.2.2	Einflussfaktoren bei der Zusammensetzung der Leerkörpermasse	109
5.3	Bewertung von Literatur-Regressionsgleichungen zur Schätzung der Leerkörperzusammensetzung	118

6	Schlussfolgerungen	123
7	Zusammenfassung	125
	Literaturverzeichnis	129
Anhang	137
	Einzeldaten der untersuchten Tiere	137
	Daten der 1. Versuchsperiode.....	137
	Daten der 2. Versuchsperiode.....	145
	Zusammensetzung der verwendeten Futtermittel.....	156
	Zusammensetzung und Energiegehalt der Ziegenvollmilch der 2.	
	Versuchsperiode	156
	Zusammensetzung des Mischfutters und des Gerstenstrohs	156
	Ergänzende Tabellen	157
	Tabellen zu Abschnitt 4.1	157
	Ergänzende Abbildungen zu Abschnitt 4.3.2	160
	Statistische Auswertungsergebnisse	164
	Eichkurve für die erste Versuchsperiode.....	170
	Eichkurve für die zweite Versuchsperiode.....	171
	Beschreibung der Vorgehensweise bei der Markerinjektion (Description of the procedure of the marker injection)	172
	Zusammenstellung von Regressionsgleichungen zur Berechnung der Leerkörperzusammensetzung wachsender Ziegenlämmer im Gewichtsabschnitt von 4 kg bis 20 kg LM anhand der D ₂ O-Applikation (Compilation of regression equations to calculate the empty body composition of growing kids weighing 4 kg to 20 kg by the application of D ₂ O).....	175

Verzeichnis der Übersichten

Übersicht 1:	Beziehung zwischen der anhand der chemischen Analyse bestimmten und mittels Verdünnungsmethode geschätzten Ganzkörperwassermasse bei Versuchen durch verschiedene Autoren	16
Übersicht 1:	Beziehung zwischen der anhand der chemischen Analyse bestimmten und mittels Verdünnungsmethode geschätzten Ganzkörperwassermasse bei Versuchen durch verschiedene Autoren (Fortsetzung)	17

Übersicht 1: Beziehung zwischen der anhand der chemischen Analyse bestimmten und mittels Verdünnungsmethode geschätzten Ganzkörperwassermasse bei Versuchen durch verschiedene Autoren (Fortsetzung)	18
Übersicht 2: Schätzgenauigkeiten für die Leerkörpermasse und deren Zusammensetzung bei Versuchen mit der Verdünnungsmethode durch verschiedene Autoren	19
Übersicht 2: Schätzgenauigkeiten für die Proteinmasse (kg) im Leerkörper bei Versuchen mit der Verdünnungsmethode durch verschiedene Autoren (Fortsetzung).....	20
Übersicht 2: Schätzgenauigkeiten für die Proteinmasse (kg) im Leerkörper bei Versuchen mit der Verdünnungsmethode durch verschiedene Autoren (Fortsetzung).....	21
Übersicht 2: Schätzgenauigkeiten für die Fettmasse (kg) im Leerkörper bei Versuchen mit der Verdünnungsmethode durch verschiedene Autoren (Fortsetzung)	22
Übersicht 2: Schätzgenauigkeiten für die Fettmasse (kg) im Leerkörper bei Versuchen mit der Verdünnungsmethode durch verschiedene Autoren (Fortsetzung)	23
Übersicht 2: Schätzgenauigkeiten für die Aschemasse (kg) im Leerkörper bei Versuchen mit der Verdünnungsmethode durch verschiedene Autoren (Fortsetzung)	24
Übersicht 3: Tabellarische Übersicht über in vivo-Untersuchungsmethoden.....	31
Übersicht 4: Verteilung der Ziegenlämmer nach Geschlecht und Geburtstyp.....	32
Übersicht 5: Versuchsplan für beide Versuchsperioden	33
Übersicht 6: Zeitpunkte bei der Datenerhebung	34
Übersicht 7: Verwendete Verfahren bei der Analyse der Körperbestandteile und der Futtermittel	39
Übersicht 8: Verwendete Verfahren bei der Messung der D ₂ O-Konzentrationen im Wasser der Blut-, Chymus- und Kot-Harn-Gemisch-Proben.....	42
Übersicht 9: Gegenstand des t-Testes nach „SPSS“	45
Übersicht 10: Gegenstand der Varianzanalyse und varianzanalytische Modelle	46
Übersicht 11: Gegenstand der statistischen Analyse mittels nichtparametrischer Tests nach „SPSS“	46
Übersicht 12: Angewandte Modelle bei der Regressionsanalyse nach "SPSS"	47
Übersicht 12: Angewandte Modelle bei der Regressionsanalyse nach "SPSS" (Fortsetzung)	48

Verzeichnis der Tabellen

Fehler! Es konnten keine Einträge für ein Abbildungsverzeichnis gefunden werden.

Tabelle 1:	Tägliche Energieaufnahme	50
Tabelle 2:	Tägliche Energieaufnahme als Vielfaches des Erhaltungsbedarfs	50
Tabelle 3:	Alter, Lebendmassen und tägliche Zunahmen (1. Versuchsperiode)	51
Tabelle 4:	Alter, Lebendmassen und tägliche Zunahmen (2. Versuchsperiode)	52
Tabelle 5:	Lebendmassen am Tag der D ₂ O-Injektion und am Tag der Schlachtung; relative Übereinstimmung (n = 23; 1. Versuchsperiode)	53
Tabelle 6:	Massen der Fraktion Kopf, Fell und Füße (n = 23; 1. Versuchsperiode)	55
Tabelle 7:	Anhand chemischer Analyse bestimmte Ganzkörperwassergehalte mit bzw. ohne Kopf, Fell, Füße; relative Übereinstimmung (n = 23; 1. Versuchsperiode)	55
Tabelle 8:	Zusammensetzung des fetthaltigen Leerkörpers von Ziegenlämmern im Gewichtsabschnitt von 4 kg bis 20 kg LM (1. und 2. Versuchsperiode)	56
Tabelle 9:	Zusammensetzung des fettfreien Leerkörpers von Ziegenlämmern im Gewichtsabschnitt von 4 kg bis 20 kg LM (1. und 2. Versuchsperiode)	58
Tabelle 10:	Korrelationskoeffizienten für die Beziehung zwischen der fetthaltigen und der fettfreien Leerkörpermasse bzw. den entsprechenden Bestandteilen (n = 30; 2. Versuchsperiode)	61
Tabelle 11:	Chymusmassen (1. und 2. Versuchsperiode)	62
Tabelle 12:	Chymuswassermassen (1. und 2. Versuchsperiode)	63
Tabelle 13:	Anteil der Chymusmasse an der Lebendmasse (1. und 2. Versuchsperiode)	63
Tabelle 14:	Anteil der Chymuswassermasse an der Ganzkörperwassermasse (1. und 2. Versuchsperiode)	67
Tabelle 15:	Mittels chemischer Analyse bestimmte Ganzkörperwassergehalte (1. und 2. Versuchsperiode)	68
Tabelle 16:	D ₂ O-Konzentrationen im Blutwasser (1. und 2. Versuchsperiode)	68
Tabelle 17:	D ₂ O-Konzentrationen im Blut- und Chymuswasser; relative Übereinstimmung (2. Versuchsperiode)	69
Tabelle 18:	Mittels D ₂ O geschätzte Ganzkörperwassergehalte bei letzter Injektion und theoretische Ganzkörperwassergehalte bei gleichmäßiger Markerverteilung; relative Übereinstimmung (2. Versuchsperiode)	70
Tabelle 19:	Massen des während der Wartezeit aufgefangenen Kot-Harn-Gemisches (1. und 2. Versuchsperiode)	71
Tabelle 20:	D ₂ O-Konzentrationen im Wasser der Kot-Harn-Gemisch-Proben (1. und 2.	

	Versuchsperiode)	72
Tabelle 21:	Anteil der D ₂ O-Masse im Kot-Harn-Gemisch an injizierter D ₂ O-Dosis (1. und 2. Versuchsperiode)	72
Tabelle 22:	Mittels D ₂ O geschätzte Ganzkörperwassergehalte mit bzw. ohne Korrektur um D ₂ O-Verluste im Kot-Harn-Gemisch; relative Übereinstimmung (n = 48; 1. Versuchsperiode)	73
Tabelle 23:	Mittels D ₂ O geschätzte Ganzkörperwassergehalte (1. und 2. Versuchsperiode)	74
Tabelle 24:	Mittels chemischer Analyse und D ₂ O erfasste Ganzkörperwassergehalte; relative Übereinstimmung (n = 23; 1. Versuchsperiode, ohne Kopf, Fell, Füße)	75
Tabelle 25:	Mittels chemischer Analyse und D ₂ O erfasste Ganzkörperwassergehalte; relative Übereinstimmung (n = 30; 2. Versuchsperiode)	75
Tabelle 26:	Mittels chemischer Analyse und D ₂ O erfasste Ganzkörperwassermassen; relative Übereinstimmung (n = 23; 1. Versuchsperiode; ohne Kopf, Fell, Füße)	76
Tabelle 27:	Mittels chemischer Analyse und D ₂ O erfasste Ganzkörperwassermassen; relative Übereinstimmung (n = 30; 2. Versuchsperiode)	76
Tabelle 28:	Korrelationskoeffizienten zwischen der Überschätzung des Ganzkörperwassergehaltes bzw. der -wassermasse und der Höhe der täglichen Zunahmen, dem Rohproteingehalt und der Rohproteinmasse des Leerkörpers (1. und 2. Versuchsperiode)	78
Tabelle 29:	Zusammenstellung der anhand chemischer Analyse und D ₂ O ermittelten Körperbestandteile; relative Übereinstimmung (n = 30; 2. Versuchsperiode)	88
Tabelle 30:	Vergleich der anhand der chemischen Analyse bestimmten Leerkörperzusammensetzung einzelner Tiergruppen (2. Versuchsperiode)	89
Tabelle 31:	Vergleich der anhand der Verdünnungsmethode geschätzten Leerkörperzusammensetzung einzelner Tiergruppen (2. Versuchsperiode)	89
Tabelle 32:	Vergleichende Kostenaufstellung für die Verdünnungsmethode und die chemische Analyse	91
Tabelle 33:	Schätzung der Leerkörperzusammensetzung mittels der Regression von der Leerkörpermasse (Methode A) bzw. der Regression von der Lebendmasse und der geschätzten Ganzkörperwassermasse (Methode L) auf die Leerkörperbestandteile im Vergleich zur chemischen Analyse ($\bar{x} \pm s$, n = 30; 2. Versuchsperiode)	120

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1:	Lebendmasseentwicklung in Abhängigkeit vom Alter (1. und 2. Versuchsperiode)	52
Abbildung 2:	Wassergehalt der fettfreien Leerkörpermasse in Abhängigkeit von der fettfreien Leerkörpermasse (n = 30; 2. Versuchsperiode)	59
Abbildung 3:	Rohproteingehalt der fettfreien Leerkörpermasse in Abhängigkeit von der fettfreien Leerkörpermasse (n = 30; 2. Versuchsperiode)	59
Abbildung 4:	Rohaschegehalt der fettfreien Leerkörpermasse in Abhängigkeit von der fettfreien Leerkörpermasse (n = 30; 2. Versuchsperiode)	60
Abbildung 5:	Abhängigkeit der Chymusmasse von der Lebendmasse (n = 23; 1. Versuchsperiode)	64
Abbildung 6:	Abhängigkeit der Chymusmasse von der Lebendmasse (n = 30; 2. Versuchsperiode)	65
Abbildung 7:	Leerkörperwassergehalt in Abhängigkeit vom mittels D ₂ O geschätzten Ganzkörperwassergehalt (n = 30; 2. Versuchsperiode)	79
Abbildung 8:	Leerkörperrohproteingehalt in Abhängigkeit vom mittels D ₂ O geschätzten Ganzkörperwassergehalt (n = 30; 2. Versuchsperiode)	80
Abbildung 9:	Leerkörperrohproteingehalt in Abhängigkeit vom mittels D ₂ O geschätzten Ganzkörperwassergehalt (n = 30; 2. Versuchsperiode)	80
Abbildung 10:	Leerkörperrohproteingehalt in Abhängigkeit vom mittels D ₂ O geschätzten Ganzkörperwassergehalt (n = 30; 2. Versuchsperiode)	81
Abbildung 11:	Zusammenhang zwischen den mittels D ₂ O und chemischer Analyse erfassten Ganzkörperwassergehalten (%; n = 30; 2. Versuchsperiode)	86

Verzeichnis der Grafiken

Grafik 1:	Zusammenhang zwischen den untersuchten Merkmalen	54
Grafik 2:	Schätzung der Leerkörperzusammensetzung anhand des mittels der Verdünnungsmethode ermittelten Ganzkörperwassergehaltes und der geschätzten Chymusmasse bzw. Chymuswassermenge	85
Grafik 3:	Mögliche Einflußfaktoren auf die Genauigkeit der Schätzung des Ganzkörperwassergehaltes und der Leerkörperzusammensetzung mittels der Verdünnungsmethode	93

Abkürzungsverzeichnis und Definitionen

Abkürzung	Bedeutung
VP	Versuchsperiode
Ganzkörper	Der intakte, vollständige Tierkörper
LM	Lebendmasse (kg)
$LM^{0,75}$	metabolische Lebendmasse
Chymus	Inhalt des Magen-Darm-Traktes, der Harn- und der Gallenblase (kg)
LKM	Leerkörpermasse, Lebendmasse ohne Chymus (kg)
KHG	Kot-Harn-Gemisch (g)
ppm	parts per million
h	Stunde
n	Zahl der Einzelwerte
\bar{x}	Arithmetisches Mittel
s	Standardabweichung
cv	Variationskoeffizient (%)
RSD	Rest-Standardabweichung, Schätzfehler der Regressionsgleichung
RSD/s	Rest-Standardabweichung bezogen auf die Standardabweichung
RCV	Rest-Variationskoeffizient (%), Schätzfehler der Regressionsgleichung bezogen auf das arithmetische Mittel der abhängigen Variablen
R^2	Bestimmtheitsmaß
r	Korrelationskoeffizient
FG	Anzahl der Freiheitsgrade
α	Irrtumswahrscheinlichkeit
P	Wahrscheinlichkeit für eine irrtümliche Entscheidung bei Ablehnung der Null-Hypothese
F	F-Wert (Quotient aus der Varianz zwischen den Gruppen und der Varianz innerhalb der Gruppen)
t	t-Wert (Prüfgröße des t-Testes)
Z	Z-Wert (Prüfgröße des Wilcoxon- bzw. Mann-Whitney-U-Testes)
n. s.	nicht signifikant

1 Problemstellung und Zielsetzung

Grundlage für die Entwicklung von standortangepassten Fütterungsstrategien ist die Erforschung des Energie- und Nährstoffwechsels. Hierbei ist die Kenntnis der Körperzusammensetzung von Versuchstieren nötig, da sie ein Maßstab für den physiologischen Zustand eines Körpers ist. Sie gibt nicht nur Auskunft über die stofflichen und strukturellen Veränderungen während des Wachstums, sondern auch über die Effizienz der Energie- und Nährstoffverwertung, d. h. über die verschiedenen Teilwirkungsgrade sowohl für den Erhaltungsbedarf als auch für die Produktion von Protein und Fett (Pfeffer und Keunecke, 1986; Schulz et al., 1974). Die Kenntnis der chemischen Zusammensetzung des Körpermassezuwachses ist daher Grundlage für die Entwicklung von Nährstoffbedarfsnormen wachsender Tiere (Graham, 1982).

Während die Veränderungen der Körperzusammensetzung im Verlauf des Wachstums bei Schafen bereits vielfach untersucht worden sind, liegen entsprechende Forschungsergebnisse an Ziegen bisher nur in geringerem Umfang vor (Pfeffer und Keunecke, 1986). Hier wird ein großer Nachholbedarf in der Forschung offensichtlich, da unter den Haustieren besonders die Ziegen durch ihre ausgeprägte Anpassungsfähigkeit für die Haltung an benachteiligten Standorten an Bedeutung gewinnen. Mit der hiermit vorgelegten Arbeit soll eine Basis zur Bewertung der Körperzusammensetzung bei wachsenden Ziegenlämmern in Abhängigkeit vom Fütterungsregime und zur Ableitung entsprechender Bedarfswerte für das Wachstum geschaffen werden.

Um die Körperzusammensetzung, insbesondere den Fett- bzw. Proteinansatz im Verlauf des Wachstums präzise beurteilen zu können, stehen im Wesentlichen die Stickstoff-Kohlenstoffbilanztechnik (CN-Bilanztechnik) und die Methode der vergleichenden Schlachttechnik zur Verfügung. Mit Hilfe der erstgenannten Methode wird die Bilanz zwischen den aufgenommenen und der über Kot, Harn, Methan und Kohlendioxid ausgeschiedenen Massen an Kohlenstoff und Stickstoff ermittelt. Anhand der Kenntnis des Kohlen- bzw. Stickstoffgehaltes von Protein und Fett läßt sich der Gehalt dieser Stoffgruppen ebenso berechnen wie der Energieansatz. Die Genauigkeit der CN-Bilanztechnik hängt allerdings wesentlich von der Sorgfalt der Erfassung der Stickstoffausscheidungen ab und ist bei länger andauernden Versuchen mit einem erheblichen Aufwand verbunden. Alternativ hierzu werden häufig Vergleichsschlachtungen von Versuchstieren vorgenommen, wodurch jedoch folgende Nachteile entstehen:

- a) Schlachtungen im Rahmen wissenschaftlicher Versuche kollidieren mit dem Gedanken des Tierschutzes und sind aus Sicht der Wissenschaftsethik bedenklich.
- b) Eine Prozessbeobachtung, z. B. zum zeitlichen Verlauf des Energieansatzes, ist nicht möglich; lediglich ein bestimmter Körperzustand zum Zeitpunkt des Schlachtens kann festgestellt werden (Kirchgessner, 1987).

- c) Wegen des aus ökonomischen Gründen kleinen Stichprobenumfangs kann die Variabilität eines Merkmals innerhalb einer Rasse nur unzureichend erfasst werden. Es kommt daher zu mehr oder weniger großen statistischen Messfehlern (Graham, 1982).
- d) Die Tiere stehen - zwangsläufig - nicht mehr z. B. für weitere Experimente oder zur Zucht zur Verfügung.
- e) Die Aufbereitung der Tierkörper für die Analyse ist mit einem hohen Arbeitsaufwand verbunden und führt zu einer Minderung des Verkaufswertes (Allen, 1990).

Eine *in vivo*-Methode, die es ermöglicht, die Körperzusammensetzung am lebenden Tier zu ermitteln, hätte dagegen entsprechend folgende Vorteile:

- a) Die Zahl der im Rahmen von wissenschaftlichen Versuchen zu schlachtenden Tiere könnte reduziert werden.
- b) Die Beobachtung der Vorgänge wie Körpergewebeauf- bzw. -abbau an ein und demselben Tier wäre möglich.
- c) Es könnten erheblich mehr Tiere untersucht werden. Durch den deutlich größeren Stichprobenumfang würden die statistischen Messfehler geringer ausfallen.
- d) Die Tiere wären weiterhin nutzbar.

Nicht nur im Rahmen der Tierernährung, sondern auch auf dem Gebiet der Tierzucht könnte eine *in vivo*-Methode sinnvoll eingesetzt werden. Bei der Leistungsbewertung autochthoner Rassen ist es von grundlegender Bedeutung, das Ausmaß der Anpassungsfähigkeit an ein quantitativ und qualitativ wechselndes Futterangebot zu erfassen. Die Anpassung spiegelt sich z. B. bei Schafen in einer veränderten Körperzusammensetzung wieder, indem die Tiere in Zeiten guter Futterversorgung Fettreserven bilden, um diese während der Trockenheit zu katabolisieren. Eine *in vivo*-Methode könnte dazu beitragen, diejenigen Tiere für die Weiterzucht zu selektieren, die ihre Körperreserven am effizientesten einsetzen und damit letztlich ihr Überleben sichern.

Aus den angeführten Punkten folgt, dass die Verfügbarkeit einer *in vivo*-Methode die Voraussetzung für eine umfassende Bewertung der Körperzusammensetzung bildet. Im Mittelpunkt dieser Arbeit stehen daher Untersuchungen zur Anwendbarkeit einer praktikablen Methode, welche die reproduzierbare Erfassung kleiner Veränderungen in der Körperzusammensetzung wachsender Ziegen *in vivo*, d. h. am lebenden Tier, ermöglicht.

2 Literaturlauswertung

2.1 Veränderung der Körperzusammensetzung während des Wachstums

Der Begriff „Wachstum“ wird in der Literatur als Zuwachs von Körpersubstanz definiert (Schulz et al., 1974). Graham (1982) versteht darunter eine Änderung der Lebendmasse und der Körperzusammensetzung, wobei die Synthese von Körpersubstanz größer ist als der Abbau. Wachstum kann in Abhängigkeit von der Gewebeart (z. B. Knochen, Muskulatur, Fettgewebe) in Form einer Vermehrung der Zellzahl, als Zellvergrößerung oder als Vermehrung extrazellulärer Substanzen auftreten. Die Regulation des Wachstums ist in erster Linie genetisch fixiert, wodurch eine Differenzierung und mithin eine spezies- und altersabhängige qualitative Veränderung bewirkt wird. Darüber hinaus haben verschiedene Umwelteinflüsse einen Einfluss auf diese Veränderungen (Zucker, 1987).

Generell lässt sich feststellen, dass mit zunehmender Körpermasse der Wassergehalt abnimmt, während der Fettgehalt dagegen steigt. Es besteht also eine negative Korrelation zwischen dem Wasser- und dem Fettgehalt. Der Proteingehalt steigt bis zu einem bestimmten Punkt und sinkt danach leicht wieder ab. Der Aschegehalt bleibt über den betrachteten Zeitraum relativ konstant. Diese Entwicklung wurde an verschiedenen Säugetierarten beobachtet (Pfeffer und Keunecke, 1986; Walker, 1986; Kolb und Gürtler, 1971; Moulton, 1923). Darüber hinaus ist die Zusammensetzung der fettfreien Körpersubstanz weitgehend unabhängig vom Fettgehalt (Moulton, 1923; Susenbeth, 1984). Moulton (1923) zieht aus seinen Untersuchungen über die Veränderung der Körperzusammensetzung während des Wachstums bei verschiedenen Tierarten die Schlussfolgerung, dass für das Aufzeigen von Alterseffekten oder abnormalen Entwicklungen die Zusammensetzung auf der Basis des fettfreien Körpers verglichen werden sollte, da diese unabhängig vom Fettgehalt ist.

Die Körperzusammensetzung wird maßgeblich beeinflusst durch die Körpermasse. Darüber hinaus können die Fütterung, das Geschlecht und das genetische Potential von Bedeutung sein. Diese Faktoren manifestieren sich in unterschiedlichen Wachstumsraten (Harricharan et al., 1987; Warmington und Kirton, 1990) und in einer veränderten Zusammensetzung des Zuwachses. Das Alter spielt dagegen eine untergeordnete Rolle (Graham, 1982; Sanz Sam-pelayo et al., 1990).

Um den Einfluss der Fütterung auf die Körperzusammensetzung zu untersuchen, teilten Jindal et al. (1980) Ziegenlämmer einer Kreuzungsrasse in drei Gruppen ein und fütterten Rationen mit unterschiedlichem Energie-, aber gleichem Rohproteingehalt. Es zeigte sich, dass durch die steigende Energiezufuhr der Fettgehalt des Körpers höher, der Proteingehalt dagegen niedriger als bei der Vergleichsgruppe ausfiel. Sanz Sampelayo et al. (1987) fütterten Ziegenlämmer der Rasse Granadina mit Milch auf unterschiedlichem Energieniveau (1,9 bzw. 2,5facher Erhaltungsbedarf) und fanden, dass bei Lämmern während der Tränkeperiode die höhere Energiezufuhr zu einer höheren Protein- bzw. Fettretention führte. Es muss allerdings hierbei beachtet werden, dass bei beiden Arbeiten die Zusammensetzung von Tieren unterschiedlicher Lebendmassen, aber etwa gleichen Alters miteinander verglichen wurde. Die Zusammensetzung des Körpers hängt zu einem bestimmten Zeitpunkt vor allem von der Körpermasse ab, und diese wiederum wird je nach Fütterungsintensität unterschiedlich schnell erreicht (Sanz Sampelayo et al., 1990). Zum gleichen Ergebnis kamen Theriez et al. (1982) bei einem Versuch an Schaflämmern; die Wachstumsrate stieg mit der Energiezufuhr, wobei letztere, bezogen auf identische Körpermassen, keinen signifikanten Einfluss auf die Körperzusammensetzung hatte. Dagegen könnte eine hohe Milchaufnahme eine Erklärung für einen höheren Fettgehalt bei vergleichbarer Körpermasse sein (Walker, 1986). Geschlechtsbedingte Unterschiede im Fettgehalt bei Körpermassen von über 14 kg ergab eine Arbeit von Searle und Griffiths (1976) an Schaflämmern.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass während des Wachstums das Maß der Protein- und Fettbildung und ihre Relation zueinander sowohl von exogenen Faktoren (z. B. Fütterung) als auch von endogenen Faktoren (genetisches Potential) bestimmt wird. Daraus können trotz vergleichbarer Angaben bei Alter und Wachstumsrate Unterschiede in der Körperzusammensetzung resultieren (Schulz et al., 1974).

2.2 Methoden der chemischen Analyse und der *in vivo*-Bestimmung der Körperzusammensetzung

2.2.1 Schlachtung, Aufbereitung und Analyse der Tierkörper

Die Entwicklung einer nicht-invasiven Methode zur Bestimmung der Körperzusammensetzung lebender Tiere erfordert die Schlachtung von Versuchstieren für die Gewinnung von Referenzwerten der tatsächlichen Körperzusammensetzung. Nach Literaturangaben wird im Allgemeinen die Schlachtung unmittelbar im Anschluss an die Anwendung der *in vivo*-Me-

thode vorgenommen. Nach dem Töten der Tiere werden der Gastro-Intestinaltrakt (Magen-Darm-Trakt) und die Harnblase entnommen und geleert. Die Masse des Inhaltes dieser Fraktionen wird per Differenz bestimmt und Proben daraus eingefroren. Sie dienen der späteren Bestimmung des Trockensubstanzgehaltes. Der Leerkörper – der ganze Körper ohne Inhalt von Magen, Darm und Harnblase – wird zunächst tiefgefroren und anschließend mittels Säge zerkleinert. Eine weitere Aufbereitung ist anhand eines Fleischwolfes oder eines Cutters möglich. Bei einer anderen Vorgehensweise werden die Körper zunächst einige Stunden autoklaviert und dann im Cutter homogenisiert. Des Weiteren wird das aufbereitete Material gefriergetrocknet und z. B. in einer Küchenmühle noch einmal zerkleinert. Die Analysen dieses Materials erfolgen nach der sog. „Weender“-Analyse (Cowan et al., 1979; Pfeffer und Keunecke, 1986; Brown und Taylor, 1986, Schmidely et al., 1989).

2.2.2 In vivo-Methoden

Die meisten Methoden zur *in vivo*-Bestimmung der Körperzusammensetzung basieren auf einem Modell, nach dem ein Körper aus zwei chemisch verschiedenen Teilen besteht, nämlich aus Fett und aus der fettfreien Masse. Begründet wird dies mit dem Phänomen, dass die Zusammensetzung der fettfreien Leerkörpermasse nach dem Erreichen der chemischen Reife weitestgehend konstant und unabhängig vom Fettgehalt ist (Moulton, 1923). Einige wenige Methoden sind auf der Grundlage eines anderen Modells entwickelt worden, das den Körper in vier chemisch verschiedene Bestandteile (Fett, Protein, Wasser und Asche) gliedert (Luskaski, 1987).

Voraussetzung für die Anwendung einer *in vivo*-Methode ist, dass sie folgende Bedingungen erfüllt:

- a) Die Ergebnisse müssen eine hohe Übereinstimmung mit den Werten der chemischen Analyse aufweisen und wiederholbar sein.
- b) Die Kosten müssen sich in einem vertretbaren Rahmen bewegen.
- c) Die Anwendbarkeit muss auch unter Feldbedingungen praktikabel sein (Simm, 1987).

In diesem Abschnitt werden daher folgende *in vivo*-Methoden beschrieben und unter den Aspekten Präzision, Kosten und Praktikabilität bewertet:

- Morphologische Messungen
- Densitometrie
- Metaboliten-, Hormon- und Isotopenmessung
- Hochtechnologie-Methoden
- Verdünnungsmethoden

2.2.2.1 Morphologische Messungen

Die Messung der Hautfaltendicke an verschiedenen Stellen eines Körpers wird am Menschen durchgeführt und soll Aufschluss über dessen Fettgehalt geben. Da jedoch nicht sicher ist, ob die Messstellen die durchschnittliche Dicke des subkutanen Fettgewebes wiedergeben und diese außerdem nicht unbedingt in einem konstanten Verhältnis zum Gesamtfettgehalt steht, ist die Aussagegenauigkeit der Methode eingeschränkt (Lukaski, 1987). Diesbezügliche Untersuchungen an Tieren liegen nicht vor.

Für die Einschätzung des Körperfettgehalts von Fettschwanz-Schafen werden in manchen Ländern zwei verschiedene Punktbewertungssysteme verwendet, wobei man durch Abtasten den Grad der subkutanen Verfettung am Rücken bzw. am Schwanz anhand einer Skala abschätzt. Der „body condition score“ besteht aus einer Fünf-Punkte-Skala, die in weitere Einheiten von 0,25 Punkten unterteilt ist. Der „tail fatness score“ enthält dagegen lediglich drei Punkte mit einer 0,5-Punkte-Einteilung. Teixeira et al. (1989) überprüften die Anwendbarkeit beider Untersuchungsmethoden an adulten Schafen, indem die Tiere zunächst von drei verschiedenen Mitarbeitern anhand der genannten Skalen eingestuft und anschließend geschlachtet wurden, um die Fettmasse insgesamt und die Massen der einzelnen Fettdepots zu ermitteln. Das Ergebnis war, dass die Fünf-Punkte-Skala des "body condition score (BCS)" genauere Ergebnisse als die Drei-Punkte-Skala des "tail fatness score" erbrachte. Rund 90 % der Variation der gesamten Fettmasse und rund 86 bis 90 % der Variation der individuellen Fettdepots konnten durch den BCS erfasst werden. Anhand des „tail fatness score“ konnten dagegen nur 79 bis 86 % der individuellen Fettdepots erklärt werden. Die Palpation des Fettgewebes gestaltet sich bei Ziegen schwieriger, da diese Tierart kaum subkutane Fettdepots aufweist (Morand-Fehr, 1989). In einer anderen Untersuchung an nicht-tragenden, nicht-laktierenden Creolen-Ziegen wurde daher die Fettauflage am Brustbein in die Schätzung des Fettgehaltes des Leerkörpers einbezogen (Aumont et al., 1994). Die anschließende Schlachtung ergab einen Schätzfehler von $RSD = 31,33 \text{ g Fett/kg Leerkörpermasse}$ ($RCV = 27,7 \%$;

$R^2 = 0,57$) für die Schätzung des Fettgehaltes anhand der modifizierten Fünf-Punkte-Skala. Dieser Wert entsprach einem RSD-Wert von 0,73 kg für die geschätzte Fettmasse. Eine Untersuchung an kastrierten, adulten Angora-Ziegen zeigte eine Schätzgenauigkeit von $SD = 1,36$ kg ($R^2 = 0,67$) für die Fettmasse (McGregor, 1992). Die Anwendung dieser Methode ist jedoch bei sehr jungen bzw. älteren Tieren problematisch, da bei den Jungtieren die Brustbeinfettauflage schwierig abzugrenzen und bei Alttieren das Brustbein verändert ist (Santucci et al., 1991). Die beschriebene Methode ist zwar preiswert und praktikabel, speziell unter Produktionsbedingungen, liefert aber zu ungenaue Ergebnisse für Versuche im Rahmen der Grundlagenforschung.

Eine weitere Möglichkeit zur Schätzung des Fettgehaltes eines Körpers ist anhand der Messung des Durchmessers von Fettzellen möglich. Robelin et al. (1989) schlachteten Kühe drei verschiedener Rassen (Holstein, Charolais und Limousine), die normal gefüttert worden waren. Aus dem Muskel gluteus medius wurde eine Fettgewebeprobe entnommen und der Durchmesser der Zellen bestimmt. Die mittels dieses Ergebnisses in Kombination mit der Lebendmasse aufgestellten lineare Regressionsgleichung ergab einen Schätzfehler für die Fettmasse von $RCV = 15,81$ %. Die Wissenschaftler betonen, dass diese Methode nicht genau genug ist, um bei kleinen Tiergruppen die Fettmasse zu schätzen. Sie könnte jedoch eingesetzt werden, um die Tiere z. B. zu Beginn eines Experimentes entsprechend ihrer Körperzusammensetzung zu sortieren. Aumont et al. (1994) ermittelten in einer analogen Untersuchung an Creolen-Ziegen (siehe S. 7 oben) den Durchmesser von Fettzellen aus dem Fettgewebe am Brustbein und schätzten damit den Fettgehalt (g pro kg Leerkörpermasse) mit einem Schätzfehler von $RSD = 43,45$ ($RCV = 38,4$ %; $R^2 = 0,17$).

2.2.2.2 Densitometrie

Die Densitometrie ist anhand des Zwei-Raum-Modells am Menschen entwickelt worden. Grundlage hierfür ist die Erkenntnis, dass das spezifische Gewicht eines Gewebes mit zunehmendem Fettgehalt sinkt (Ullrich, 1985). Man kann daher die Fettmasse und die fettfreie Masse eines Körpers anhand der spezifischen Lebendmasse ermitteln. Letztere lässt sich nach der Bestimmung des Körpervolumens durch das komplette Eintauchen in Wasser (Immersion) errechnen, wobei Korrekturen für den Luftgehalt in der Lunge vorgenommen werden. Diese Methode ist auch an Tieren getestet worden. Lynch und Wellington (1963) ließen Schweine mit einer mittleren Lebendmasse von 95 kg 24 Stunden lang fasten, bevor sie narkotisiert

wurden. Den Tieren wurde eine Atemmaske aufgesetzt, bevor sie in einen Behälter mit Wasser gelegt wurden. Das spezifische Gewicht des Körpers errechnet sich aus dem Verhältnis der Lebendmasse an der Luft zur Differenz zwischen der Lebendmasse an der Luft und der Lebendmasse unter Wasser (Rakshe und Patle, 1983). Es wurde um das Lungenvolumen und die Wasserdichte zum Zeitpunkt der Wägung korrigiert. Eine lineare Regressionsgleichung für die Schätzung des Fettgehaltes anhand des spezifischen Gewichtes ergab ein Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,50$. Für die Schätzung des Stickstoff- bzw. Aschegehaltes wurden entsprechende Werte von 0,29 bzw. 0,25 ermittelt. Neben diesem Anwendungsbereich wird die Densitometrie auch zur Bestimmung der Zusammensetzung einzelner Schlachtkörperteile benutzt (Rakshe und Patle, 1983; McCarthy et al., 1983). Aufgrund des apparativen Aufwandes und der notwendigen Narkose der Tiere vor der Wägung ist die beschriebene Methode zur Bestimmung der Körperzusammensetzung am lebenden Tier jedoch nicht weit verbreitet, weswegen kaum Literaturarbeiten vorliegen.

2.2.2.3 Metaboliten-, Hormon- und Isotopenmessungen

Kreatinin und 3-Methylhistidin sind Metaboliten des Muskelstoffwechsels. Man hat daher versucht, anhand der Konzentration dieser Stoffe im Urin und der Kreatininkonzentration im Blut einen Index für die fettfreie Masse eines menschlichen Körpers auf der Basis des Zwei-Raum-Modells zu entwickeln. Ein Problem dabei ist die große Variabilität dieser Konzentrationen im Urin in Abhängigkeit von der Ernährung und der Nierenfunktion. Außerdem besteht ein Einfluss des Nichtmuskulatur-Proteinturnovers auf die Ausscheidung von 3-Methylhistidin (Lukaski, 1987). Neuere Untersuchungen an Tieren liegen nicht vor.

Der Gehalt an nichtveresterten Fettsäuren im Blutplasma spiegelt die Mobilisierung des Fettgewebes z. B. in Phasen der Unterernährung oder der Frühlaktation wieder. Dunshea et al. (1988) haben daher in einem Versuch an unterernährten Ziegen die Konzentration der nichtveresterten Fettsäuren im Blutplasma gemessen und eine enge lineare Beziehung zwischen der Konzentration und der Fettgewebemobilisierung beobachtet ($R^2 = 0,87$). Jedoch wurde die Veränderung der Fettmassen um rund 30 % unterschätzt. Diese Unterschätzung wurde damit erklärt, dass die Kinetik der nichtveresterten Fettsäuren im Blutplasma nicht die Wiederveresterung dieser Säuren widerspiegelt und dass Veränderungen bei der Lipogenese während einer chronischen Unterernährung auftreten.

Untersuchungen an Mutterschafen haben gezeigt, dass sich die Konzentration der Hormone T_3 , T_4 , Insulin, Adrenalin und Wachstumshormon im Blutplasma bei gut und schlecht ernährten Tieren signifikant unterscheidet (Oetzel et al., 1988). Es bestehen allerdings nur sehr niedrige Korrelationen zwischen den Konzentrationen und dem Fettgehalt des Leerkörpers. Miles (1982) zitiert eine Untersuchung von Truscott (1980), wonach bei Mastrindern Korrelationskoeffizienten zwischen $-0,20$ und $+0,22$ gefunden wurden. Kenntnisse über die Konzentration der genannten Hormone dienen daher vor allem zum Studium des Energiestoffwechsels und weniger zur *in vivo*-Bestimmung der Körperzusammensetzung.

Chemische Analysen haben ergeben, dass das natürliche Kalium-Isotop K^{40} mit einem Anteil von $0,012\%$ am Gesamtkalium innerhalb der Zellen vorliegt, aber nicht im Fett anzutreffen ist. Das Isotop zeigt eine charakteristische Gammastrahlung, die in speziell gegen die Erdstrahlung ausgerüsteten Räumen anhand eines Gammastrahlen-Detektors gemessen werden kann. Unterstellt man einen konstanten Kaliumgehalt der fettfreien Masse, so lässt sich diese anschließend berechnen. Die Isotopenmessung beruht also auf dem Zwei-Raum-Modell. Es bestehen jedoch technische Probleme bei der Erfassung der natürlichen Gammastrahlung, weswegen das ebenfalls radioaktive Isotop K^{42} als Marker verwendet werden kann (Shebaita, 1975). Domingo et al. (1973) unternahmen einen Versuch an wachsenden Schafen, die in drei Fütterungsgruppen aufgeteilt waren. Bei der Schlachtung wogen die Tiere zwischen $23,5\text{ kg}$ und $34,5\text{ kg}$; der Fettgehalt rangierte von $9,9\%$ bis $19,7\%$. Unmittelbar vor der Schlachtung wurde den Tieren eine Lösung mit K^{42} intravenös injiziert und nach einer Wartezeit von 12 Stunden die Radioaktivität im Blutplasma gemessen, um daraus den Anteil des ausgetauschten Kaliums am gesamtem Kalium im Körper zu berechnen. Er betrug rund 90% . Zwischen der Masse des ausgetauschten Kaliums und der Masse des fettfreien Leerkörpers wurde eine lineare Beziehung aufgestellt ($R^2 = 0,965$, $RSD = 0,735\text{ kg}$). Danach überschätzt diese Methode die Masse des fettfreien Körpers. Darüber hinaus variiert der Anteil des austauschbaren Kaliums am natürlichen Kalium innerhalb einer Spezies; die Kaliumkonzentration in den Geweben ist außerdem abhängig vom Alter und der Lebendmasse und mithin nicht konstant, so dass bei der Schätzung der fettfreien Körpermasse Schätzfehler von bis zu 18% entstehen (Shebaita, 1975). Daneben ist der Kapitalaufwand für die technische Einrichtung sehr hoch, so dass nur wenige Untersuchungen an Tieren bisher durchgeführt worden sind (Miles, 1982; Lukaski, 1987).

2.2.2.4 Hochtechnologie-Methoden

Die Methode der Neutronenaktivierung nutzt die physikalische Eigenschaft einiger Atome, z. B. Calcium, Stickstoff und Kohlenstoff, sich während eines moderaten Beschusses mit schnellen Neutronen durch eine Plutonium- oder Berylliumquelle zu instabilen Isotopen umzulagern. Diese emittieren dann eine charakteristische Gammastrahlung, die durch entsprechende Messgeräte erfasst werden kann. Für die ungestörte Messung der emittierten Strahlung ist ein speziell abgeschirmter Raum nötig. Der Calciumgehalt eines Körpers steht in enger Beziehung zu dessen Aschegehalt, der Stickstoffgehalt zur fettfreien Masse und der Kohlenstoffgehalt sowohl zur fettfreien als auch zur fetthaltigen Masse. Durch die kombinierte Messung der Gammastrahlung dieser drei Isotopen am Körper lassen sich die Anteile von Knochengewebe, Muskel- und Nichtmuskelgewebe und per Differenz der Fettgehalt errechnen. Die Methode, die anhand des Vier-Raum-Modells entwickelt worden ist, liefert zwar genaue Ergebnisse, aber wegen des hohen apparativen und finanziellen Aufwandes ist sie bisher überwiegend am Menschen angewendet worden (Miles, 1982; Lukaski, 1987; Kehayias et al., 1991). Die Tiere müssen für die Untersuchung narkotisiert werden, und ihre Lebendmasse darf nicht höher als rund 100 kg sein (Allen, 1990).

Die Methode der Photonen-Absorptionsmessung beruht auf einem Zwei-Raum-Modell, nach dem der Körper aus Knochen- und Weichgewebe besteht. Die Energie eines von einer Gadoliniumquelle ausgesandten Photonenstrahles wird von jedem Gewebetyp in einer für ihn spezifischen Menge absorbiert; man erfasst sie anhand eines Szintillationszählers. Auf diese Weise ist es möglich, an einem Körper den Gehalt an Knochen- und Fettgewebe zu messen und daraus die Masse des fettfreien Gewebes zu errechnen. Die Dicke des zu untersuchenden Gewebes ist jedoch begrenzt. Diese Methode ist zwar etwas praktikabler als die Neutronenaktivierung, dennoch haben die hohen Kosten der technischen Einrichtung dazu geführt, dass sie bei Tieren kaum angewendet wird (Miles, 1982; Lukaski, 1987).

Forschungen haben ergeben, dass die fetthaltige und die fettfreie Masse eines Körpers unterschiedliche dielektrische Eigenschaften haben. Daher sind Methoden zur Messung der elektrischen Leitfähigkeit bzw. des Widerstandes entwickelt worden. Legt man eine bestimmte Stromstärke an einem Körper an, kann man mit einer phasenempfindlichen Elektronik die entstehenden unterschiedlichen Widerstände innerhalb des Körpers messen und daraus die fettfreie und damit die fetthaltige Masse abschätzen. Bei der Methode der bioelektrischen Impedanz geschieht dies anhand von am Körper befestigten Aluminiumplatten. Für die "total

body electrical conductivity"-Methode (TOBEC) wird dagegen ein großer Zylinder verwendet, in dem der Körper liegt. Beide Methoden können Veränderungen in der Zusammensetzung eines Körpers gut erfassen. Die technischen Anforderungen sind gering, die Kosten jedoch speziell für die TOBEC-Methode recht hoch. Auch hier liegen nur wenige Ergebnisse über Untersuchungen an Tieren vor (Miles, 1982; Lukaski, 1987; van Loan et al. 1987). Allen (1990) zitiert Arbeiten über Untersuchungen an Schweinen mit z. T. widersprüchlichen Ergebnissen u. a. von Stiffler et al. (1976) und Fredeen et al. (1979). Während Stiffler et al. (1976) nur einen marginalen Nutzen dieser Methode für die Schätzung der abtrennbaren Fettmasse von Schweinen ermitteln konnte, errechneten Fredeen et al. (1979) ein Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,44$ für den Fettgehalt. Eine Arbeit neueren Datums ist von Forrest (1993) vorgestellt worden. Er nahm an Schweinen, die nach dem Töten gebrüht und enthaart, jedoch nicht ausgenommen wurden, elektromagnetische Messungen vor und ermittelte eine Schätzgenauigkeit von $RSD = 1,64 \text{ kg}$ ($R^2 = 0,90$) für die Masse des abtrennbaren Magerfleisches. Danach kann die TOBEC-Methode erfolgreich zur Schätzung des Magerfleischanteils im Schlachtkörper und bei Teilstücken von Schweinen verwendet werden.

Die Methode der Infrarot-Wechselwirkung basiert auf dem Prinzip der unterschiedlichen Lichtabsorption und -reflexion in Abhängigkeit von der Gewebeart. Eine Fiberglas-Sonde emittiert eine elektromagnetische Strahlung auf den Körper, sammelt die gestreute und reflektierte Energie und führt sie einem Spektralphotometer zu, der diese auswertet. Die Methode kann lediglich eine bestimmte Körperstelle bis zu einer Tiefe von einem Zentimeter untersuchen; außerdem ist sie noch im Versuchsstadium. Ergebnisse über Anwendungen an Tieren liegen daher nicht vor (Lukaski, 1987; Allen, 1990).

Bei der Ultraschalltechnik wandelt ein Gerät elektrische Energie in Ultraschallenergie um, die anhand eines Scanners in Form von kurzen Impulsen auf den zu untersuchenden Körper gerichtet wird. Die Ultraschallwellen werden an Grenzflächen, z. B. zwischen Fett- und Muskelgewebe, reflektiert, da die akustischen Eigenschaften dieser Gewebe unterschiedlich sind. Die reflektierten Wellen werden von dem Scanner erfasst und wieder in elektrische Energie zurückverwandelt. Aus der Zeit zwischen Reflexion und Transformation kann ein Oszilloskop den Gewebetyp und dessen Anteil an der untersuchten Stelle darstellen. Nachteilig bei dieser Methode ist, dass der Scanner mit einem gleichmäßigen und konstanten Druck auf der Haut plaziert sein muss, da sonst mit fehlerhaften Ergebnissen zu rechnen ist. Wie die Infrarot-Wechselwirkung kann auch die Ultraschalltechnik nur einen bestimmten Bereich eines Kör-

pers erfassen. Dennoch wird diese Methode an Menschen und Tieren vielfach angewendet. Bei Tieren dient die Ultraschallmethode vor allem zur Schätzung der Schlachtkörperzusammensetzung und nicht, wie bei den vorangegangenen Beschreibungen, für die Zusammensetzung des Leerkörpers. Da bei Schweinen eine hohe Korrelation zwischen der Fettdicke und dem Magerfleischanteil besteht, wird hier mit Erfolg die Ultraschalltechnik zur Abschätzung der Schlachtkörperqualität eingesetzt, wie zahlreiche Untersuchungen belegen (Allen, 1990; Busk, 1989). Ähnliche Untersuchungen an Rindern und Schafen haben zu sehr unterschiedlichen Resultaten geführt. Diese Tierarten zeichnen sich dadurch aus, dass sie, im Gegensatz zu Schweinen, relativ mehr Fett zwischen den Muskeln und weniger subkutan bilden. Außerdem ist die Korrelation zwischen der subkutanen Fettauflage und dem Fettgehalt des Schlachtkörpers vergleichsweise niedriger. Verschiedene Autoren haben mittels Ultraschall versucht, die Schlachtkörperzusammensetzung an lebenden Schafen zu schätzen. Kempster et al. (1982) untersuchten Lämmer mit einer mittleren Lebendmasse von 44,5 kg, wobei sie zwei verschiedene Geräte benutzten. Sie ermittelten für die Schätzung des Magerfleischanteils einen RSD-Wert von 32 g bzw. 36 g pro kg Schlachtkörpermasse und schlossen daraus, dass die Anwendung der Ultraschalltechnik bei Lämmern unter praktischen Bedingungen für die Schätzung des Magerfleischanteils nicht empfehlenswert sei. Dagegen könnte sie eingesetzt werden, um Tiere, die sich in der Körperzusammensetzung stark unterscheiden, zu selektieren. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen Fortin und Shrestha (1986) und Bass et al. (1982), die die Genauigkeit von Ultraschallgeräten für die Schätzung der Schlachtkörperzusammensetzung an Schaflämmern bzw. adulten Schafen überprüften. Höhere Genauigkeiten wurden bei Rindern durch die Verwendung eines neueren Gerätes erzielt, das die Zeit misst, die die ausgesendeten Wellen benötigen, ein Gewebe zu durchdringen, und daraus die Zusammensetzung dieses Gewebes berechnet. Bei Rindern wurde für die Schätzung des Magerfleischanteils ein RSD-Wert von 16,1 g pro kg Schlachtkörpermasse errechnet (Miles, 1983, zitiert bei Allen, 1990). Porter et al. (1990) bestätigen dieses Ergebnis, indem sie sieben verschiedene Geräte an Bullen von Kreuzungsrassen überprüften und feststellten, dass mit Hilfe des neueren Gerätes eine hohe Schätzgenauigkeit mit einem RSD-Wert von 13 g für den Magerfleischanteil und 14,1 g für den Fettanteil im Schlachtkörper erreicht werden konnte. Wie bereits beschrieben, wird die Ultraschalltechnik in erster Linie zur Schätzung der Schlachtkörperzusammensetzung benutzt. Arbeiten zu Schätzung der Leerkörperzusammensetzung liegen bisher nicht vor.

Die Computertomographie (CT) ist eine moderne radiographische Methode, um die Zusammensetzung des Körpers an einer bestimmten Stelle zu untersuchen. Eine Gerät, das Röntgen-

strahlen aussendet, dreht sich um den Körper. Ein System von Detektoren, das gegenüber des Gerätes angebracht ist, empfängt die je nach Gewebeart unterschiedlich abgeschwächten Strahlen, die von einem Computer zu einem zweidimensionalen Querschnittbild verrechnet werden. Durch eine Aneinanderreihung von Schnittbildern lässt sich der gesamte Körper darstellen. Da die Dicke des vermessenen Querschnittes bekannt ist und die unterschiedlichen Gewebe klar zu differenzieren sind, kann man das Volumen verschiedener Organe und Gewebe mit einer hohen Genauigkeit ermitteln. Dies haben Untersuchungen an verschiedenen Tierarten ergeben. So wurde z. B. die Schlachtkörperzusammensetzung von lebenden Schweinen beiderlei Geschlechts mittels CT geschätzt (Vangen und Allen, 1986, zitiert bei Vangen, 1989). Danach können die Fett- und die Proteinmasse mit einer Genauigkeit von $RSD/s = 18,5\% \text{ bis } 27,1\%$ für Fett und $27,7\% \text{ bis } 45,6\%$ für Protein bestimmt werden ($R^2 = 0,98$ bzw. $0,93$, zitiert bei Baulain, 1994). Vangen zitiert daneben Arbeiten anderer Forscher, die ähnliche Ergebnisse an Schafen und Broilern erzielten (Bentsen und Sehestedt, 1988; Sehestedt, 1986). Sørensen (1992) versuchte anhand der CT, die Schlachtkörperzusammensetzung von laktierenden Ziegen zu schätzen und stellte fest, dass diese Technik gut geeignet ist, die Fettmasse des Schlachtkörpers zu schätzen; weniger gute Schätzgenauigkeiten gab es dagegen bei der Proteinmasse. Die Röntgen-CT kann die arbeitsaufwendige Totalzerlegung von Tieren ersetzen, um selbst als Referenzmethode zu dienen (Baulain, 1993). Entscheidend ist jedoch die Eignung dieser Methode zur Messung von Veränderungen der Körperzusammensetzung, z. B. während des Wachstums oder im Rahmen eines Fütterungsexperimentes. Andererseits ist die Methode aufgrund des apparativen Aufwands mit hohen Kosten verbunden (Lukaski, 1987).

Die Kernspintomographie, im angelsächsischen Sprachraum magnetic resonance imaging (MRI) genannt, nutzt eine physikalische Eigenschaft von Atomen, deren Kerne sich wie Magnete verhalten. Wenn man ein externes Magnetfeld in Kombination mit Hochfrequenzwellen um einen Körper herum anbringt, absorbieren einige Arten von Atomkernen, speziell Wasserstoff, Phosphor und Kohlenstoff, einen Teil dieser Energie und ändern ihre Ausrichtung im Magnetfeld. Nachdem letzteres abgeschaltet ist, geben die Atomkerne die absorbierte Energie wieder ab; ein Computer konstruiert aus den entsprechenden Signalen ein zwei- oder dreidimensionales Querschnittbild mit einer sehr hohen Auflösung. Die wesentlichen Vorteile dieser Methode gegenüber der Röntgen-CT sind, dass keine ionisierenden Strahlen verwendet werden und eine präzise Unterscheidung zwischen verschiedenen Gewebearten wie Fett und Muskulatur möglich ist. Baulain (1993) schildert einen Versuch an Schweinen, die auf drei

Gewichtsgruppen aufgeteilt waren. Nach der Tomographie an mehreren Stellen des Körpers wurden die Tiere geschlachtet, um die Körperzusammensetzung aus Magerfleisch, Fett und Knochen zu erfassen. Nach den Literaturangaben konnten unter Einschluss der Lebendmasse anhand der MRI-Technik für alle drei Gruppen die Massen an Muskelgewebe mit einer Genauigkeit von RCV = 3,02 % bis 4,83 % geschätzt werden, während für die Fettmasse Werte von 5,68 % bis 7,63 % ermittelt wurden. Der apparative Aufwand und die enorm hohen Kosten begrenzen jedoch den Einsatz der MRI-Technik bei der Erforschung des tierischen Stoffwechsels, weswegen nur wenige entsprechende Arbeiten vorliegen (Miles, 1982; Lukaski, 1987; Allen, 1990).

2.2.2.5 Verdünnungsmethoden

Bei der Anwendung der Verdünnungsmethoden kann man vom Zwei-Raum-Modell ausgehen, wonach der Leerkörper aus Fett und aus der fettfreien Masse besteht. Letztere enthält im Durchschnitt ca. 73 % Wasser. Der mittels der Verdünnungsmethode ermittelte Ganzkörperwassergehalt dient zur Schätzung des Leerkörperwassergehaltes. Dieser wiederum wird zur Schätzung der fettfreien Leerkörpermasse herangezogen. Die Differenz zwischen der Leerkörpermasse und der fettfreien Leerkörpermasse entspricht der Fettmasse des Leerkörpers. Die Leerkörpermasse selbst ist die Grundlage zur Schätzung des Protein- und Aschegehaltes des fettfreien Leerkörpers (Susenbeth, 1984). Die meisten Forscher verwenden jedoch das Ein-Raum-Modell, wobei von der geschätzten Ganz- oder Leerkörperwassermasse, meist zusammen mit der Lebendmasse, direkt auf die Zusammensetzung des Leerkörpers einschließlich der Fettmasse geschlossen wird (Arnold et al., 1985; Brown und Taylor, 1986; Robelin, 1977).

Bei der Verdünnungsmethode geht man davon aus, dass ein Marker im Körper verteilt, d. h. verdünnt und ausgetauscht wird wie das Körperwasser. Nach einer intravenösen Applikation einer definierten Dosis einer Testsubstanz (Marker) und einer Wartezeit von einigen Minuten bis Stunden werden eine oder mehrere Blutproben genommen. Anhand der injizierten Markerdosis, der Konzentration des Markers im Wasser der Blutproben und der Lebendmasse lässt sich die Masse des Ganzkörperwassers ermitteln. Zusätzlich kann eine Korrektur um die im Kot-Harn-Gemisch während der Wartezeit ausgeschiedene Markermasse angebracht sein.

Als Marker werden häufig die Wasserstoffisotope Deuterium- (D_2O) oder Tritiumoxid (TOH)

verwendet (Lukaski, 1987). Deuteriumoxid, auch schweres Wasser genannt, ist ein natürlicher Bestandteil von Quell- und Leitungswasser. Tritiumoxid enthält das betastrahlende Isotop des Wasserstoffes, ist also radioaktiv. Bei der Verwendung dieses Markers sind besondere Vorsichtsmaßnahmen erforderlich. Für die Analysen benötigt man ein Infrarotspektrometer bzw. einen Flüssigkeits-Szintillationszähler.

Wesentlich bei der Anwendung der Verdünnungsmethode ist ein ausreichend langer Zeitraum zwischen der Injektion des Markers und der Blutprobe. In der Literatur werden recht einheitliche Wartezeiten bis zum Erreichen des Verteilungsgleichgewichtes im Körperwasser angegeben. So verabreichte Robelin (1977) wachsenden Schaflämmern eine intravenöse Dosis D_2O von 0,6g/kg Lebendmasse und stellte fest, dass binnen 4 Stunden der Marker gleichmäßig im Ganzkörperwasser verteilt war. In einem Versuch an tragenden Schafen wurde das Verteilungsgleichgewicht innerhalb von 4 bis 7 Stunden erreicht (Houseman et al., 1978). Bei Rindern war die D_2O -Konzentration im Pansenwasser nach 5 Stunden identisch mit der im übrigen Körperwasser (Crabtree et al., 1974).

Die folgenden Übersichten 1 und 2 enthalten, sortiert nach Markern und Tierart, eine tabellarische Zusammenstellung von Ergebnissen verschiedener Arbeiten zur Schätzung der Ganzkörperwassermasse mittels D_2O bzw. TOH (Übersicht1) und der Leerkörpermasse sowie deren Zusammensetzung (Übersicht 2). Sie zeigen Regressionsgleichungen, die unter den variierenden Versuchsbedingungen, z. B. mit unterschiedlichen Tierarten und Lebendmassen, entwickelt worden sind. Daher sind weder die Regressionskoeffizienten noch die entsprechenden Schätzfehler (RCV-Werte) direkt miteinander vergleichbar, wie Robelin (1984) betont. Eine Gegenüberstellung der Werte soll lediglich dazu dienen, deren mögliche Spannbreite aufzuzeigen. Eine Zusammenstellung weiterer Ergebnisse zum Thema Verdünnungsmethoden mittels D_2O und TOH ist bei Susenbeth (1984) zu finden.

Übersicht 1: Beziehung zwischen der anhand der chemischen Analyse bestimmten und mittels Verdünnungsmethode geschätzten Ganzkörperwassermasse bei Versuchen durch verschiedene Autoren

• LM = Lebendmasse (kg); • LKM = Leerkörpermasse (kg); • A = Alter (Monate); • # = Wert nach Angaben der Verfasserin berechnet • W_{D2O} /

Autor, Jahr	Marker	Tierart, Zahl	Nüchterungs-dauer (h)	Schlachtzeitpunkt	Tränke/ Fütterung nach Injektion	Ganzkörperwassermasse			
						Regressionsgleichung	R^2	RSD	RCV
Crabtree et al., 1974	D ₂ O	12 Bullen (je 6 mit 340 bzw. 420 kg Leerkörpermasse)	keine Angabe	24 h nach Injektion; 12 h nach letzter Blutprobe	keine Angabe	$87,14 + 0,59 * W_{D2O}$	0,85	10,53	4,25
Odwongo et al., 1984	D ₂ O	4 Kälber, 10 Kühe (90 - 562 kg LM)	keine Angabe	11 -15 Tage nach Injektion	keine Angabe	$1,501 * \log W_{D2O}^{0,898}$ (Y = log. Ganzkörperwassermasse mittels chem. Analyse)	0,992	0,29	
Bird et al., 1982	TOH	23 Bullen (3-33 Monate, 90-517 kg LM)	4 h vor Injektion	20 h nach Injektion; direkt nach letzter Blutprobe	nein	$1,189 * W_{TOH}^{0,915} * A^{0,059}$	0,999	3,36	1,8

W_{TOH} = durch D₂O/ TOH geschätzte Ganzkörperwassermasse (kg); • N = Stickstoff; • LKW_{D2O} = Differenz zwischen W_{D2O} und geschätzter Wassermasse im Gastro-Intestinaltrakt

Übersicht 1: Beziehung zwischen der anhand der chemischen Analyse bestimmten und mittels Verdünnungsmethode geschätzten Ganzkörperwassermasse bei Versuchen durch verschiedene Autoren (Fortsetzung)

Autor, Jahr	Marker	Tierart, Zahl	Nüchterungs- dauer (h)	Schlacht- zeitpunkt	Tränke/ Fütterung nach Injekt.	Ganzkörperwassermasse			
						Regressionsgleichung	R^2	RSD	RCV
Chigaru, Holness, 1983	TOH	je 18 Färsen drei verschiedener Rassen (131 - 399 kg LM)	24 h vor Schlacht.	7 h nach Injektion; direkt nach letzter Blutprobe	keine Angabe	Mashona: $17,531 + 0,794 \cdot W_{TOH}$ Afrikaner: $6,693 + 0,899 \cdot W_{TOH}$ Hereford: $19,023 + 0,828 \cdot W_{TOH}$	0,97 0,97 0,91	5,29 5,72 9,71	4,28 # 3,74 # 6,03 #
Meissner et al., 1980	TOH	20 Bullen von 5 Rassen (101 - 772 kg LM)	keine Nüchtg.	keine Angabe	nein	$0,687 \cdot W_{TOH} + 0,127 \cdot LM$		12,6	5,0 #
Cowan et al., 1980	D ₂ O	36 laktierende Schafe (75 - 80 kg LM)	keine Nüchtg.	2 bzw. 42 Tage nach Injektion	ja	2. Tag: $9,3 + 0,76 \cdot W_{D2O}$ 42. Tag: $0,7 + 0,88 \cdot W_{D2O}$		2,2 3,1	
Houseman et al., 1978	D ₂ O	38 tragende Schafe (90./140. Trächtigkeitstag)	keine Angabe	1 Tag nach Injektion	keine Angabe	90. Tag: $9,9 + 0,73 \cdot W_{D2O}$ 140. Tag: $12,4 + 0,73 \cdot W_{D2O}$		} _{2,2}	5,06 # 4,12 #
Robelin, 1977	D ₂ O	20 Schaflämmer (5 - 33 kg LM)	keine Angabe	12 h nach Injektion; direkt nach letzter Blutprobe	keine Angabe	$163 + 0,982 \cdot W_{D2O}$	0,99 6	0,42	3,33 #

• LM = Lebendmasse (kg); • LKM = Leerkörpermasse (kg); • A = Alter (Monate); • # = Wert nach Angaben der Verfasserin berechnet; • W_{D2O} / W_{TOH} = durch D₂O/ TOH geschätzte Ganzkörperwassermasse (kg); • N = Stickstoff; • LKW_{D2O} = Differenz zwischen W_{D2O} und geschätzter Wassermasse im Gastro-Intestinaltrakt

Übersicht 1: Beziehung zwischen der anhand der chemischen Analyse bestimmten und mittels Verdünnungsmethode geschätzten Ganzkörperwassermasse bei Versuchen durch verschiedene Autoren (Fortsetzung)

Autor, Jahr	Marker	Tierart, Zahl	Nüchterungs-dauer (h)	Schlachtzeitpunkt	Tränke/Fütterung nach Injekt.	Ganzkörperwassermasse			
						Regressionsgleichung	R^2	RSD	RCV
Schmidely et al., 1989	D ₂ O	41 männliche Ziegenlämmer	keine Angabe	48 h nach Injektion	ja	$0,978 * W_{D2O}$	0,977	0,46	3,0
Benjamin et al., 1993	TOH	11 Ziegen (4 männlich, 7 weiblich; 8 - 14 Monate alt)	16 - 18 h vor Schlacht.	keine Angabe	keine Angabe	$-1,193 + 0,896 * W_{TOH}$	0,977	0,72	
Dunshea et al., 1988	TOH	17 laktierende Ziegen (31 - 63 kg LM)	keine Nüchtg.	24 h nach Injektion; direkt nach letzter Blutprobe	keine Angabe	$0,300 + 0,892 * W_{TOH}$	0,974	1,02	3,4
Viljoen et al., 1988	TOH	12 Ziegen (20 bis 60 kg LM)	keine Nüchtg.	6 h nach Injektion	keine Angabe	$0,736 + 0,872 * W_{TOH}$	0,997	0,42	1,84

• LM = Lebendmasse (kg); • LKM = Leerkörpermasse (kg); • A = Alter (Monate); • # = Wert nach Angaben der Verfasserin berechnet; • W_{D2O} /

W_{TOH} = durch D₂O/ TOH geschätzte Ganzkörperwassermasse (kg); • N = Stickstoff; • LKW_{D2O} = Differenz zwischen W_{D2O} und geschätzter Wassermasse im Gastro-Intestinaltrakt

Übersicht 2: Schätzgenauigkeiten für die Leerkörpermasse und deren Zusammensetzung bei Versuchen mit der Verdünnungsmethode durch verschiedene Autoren

Autor, Jahr	Marker	Tierart, Zahl	Leerkörpermasse (kg)				Leerkörperwassermasse (kg)			
			Regressionsgleichung	R^2	RSD	RCV	Regressionsgleichung	R^2	RSD	RCV
Crabtree et al., 1974	D ₂ O	12 Bullen (je 6 mit 340 bzw. 420 kg LKM)	keine Angabe				$66,64 + 0,53 * W_{D2O}$	0,92	6,68	3,16
Odwongo et al., 1984	D ₂ O	4 Kälber, 10 Kühe (90 - 562 kg LM)	keine Angabe				$0,968 * LKW_{D2O}^{1,006}$	0,992	1,07	0,52 #
Cowan et al., 1980	D ₂ O	36 laktierende Schafe (75 - 80 kg LM)	$-12,05 + 0,877 * LM$		4,47		keine Angabe			
Robelin, 1977	D ₂ O	20 Schaflämmer (5 - 33 kg LM)	keine Angabe				keine Angabe			
Brown, Taylor, 1986	D ₂ O	15 Ziegen (5 trocken, 10 laktierend)	$-2,13 + 0,932 * LM$	0,992#	0,896	1,82#	$1,465 * W_{D2O}^{0,827}$	0,92 #	0,04	0,16 #
Schmidely et al., 1989	D ₂ O	41 männliche Ziegenlämmer	keine Angabe				$0,776 * W_{D2O}$		0,87	
Dunshea et al., 1988	TOH	17 laktierende Ziegen (31 bis 63 kg LM)	$-2,32 + 0,842 * LM$	0,964	1,55	0,04	keine vergleichbare Angabe			

• LM = Lebendmasse (kg); • LKM = Leerkörpermasse (kg); • A = Alter (Monate); • # = Wert nach Angaben der Verfasserin berechnet; • W_{D2O} / W_{TOH} = durch D₂O/ TOH geschätzte Ganzkörperwassermasse (kg); • N = Stickstoff; • LKW_{D2O} = Differenz zwischen W_{D2O} und geschätzter Wassermasse im Gastro-Intestinaltrakt

Übersicht 2: Schätzgenauigkeiten für die Proteinmasse (kg) im Leerkörper bei Versuchen mit der Verdünnungsmethode durch verschiedene Autoren (Fortsetzung)

Autor, Jahr	Marker	Tierart, Zahl	Leerkörperproteinmasse			
			Regressionsgleichung	R^2	RSD	RCV
Crabtree et al., 1974	D ₂ O	12 Bullen (je 6 mit 340 bzw. 420 kg LKM)	$3,09 + 0,03 * W_{D_2O}$ (nur N!)	0,74	0,75	6,91
Odwongo et al., 1984	D ₂ O	4 Kälber, 10 Kühe (90 - 562 kg LM)	$0,147 * LKW_{D_2O}^{1,095}$	0,972	0,90	1,75 #
Bird et al., 1982	TOH	23 Bullen (3-33 Monate, 90-517 kg LM)	$-0,89 + 0,08 * LM + 0,121 * W_{TOH}$	0,983	2,77	5,89 #
Meissner et al., 1980	TOH	20 Bullen von 5 Rassen (101 - 772 kg LM)	$-0,061 * W_{TOH} + 0,226 * LM$		7,19	
Cowan et al., 1980	D ₂ O	36 laktierende Schafe (75 - 80 kg LM)	keine Angabe			
Houseman et al., 1978	D ₂ O	38 tragende Schafe (90./140. Trächtigkeitstag)	keine Angabe			
Robelin, 1977	D ₂ O	20 Schaflämmer (5 - 33 kg LM)	$-0,8334 + 1,021 * \log LM$ bzw. $-0,7745 + 0,969 * \log LM$	} 0,998		} 3,5
Trigg et al., 1978	D ₂ O	18 Schafe (22 - 35 kg LM)	$-0,058 + 0,014 * LM + 0,018 * W_{D_2O}$ (nur N!)	0,927	0,03	5,02 #
Trigg et al., 1978	TOH	18 Schafe (22 - 35 kg LM)	$0,016 + 0,006 * LM + 0,026 * W_{TOH}$ (nur N!)	0,928	0,03	5,02 #

• LM = Lebendmasse (kg); • LKM = Leerkörpermasse (kg); • A = Alter (Monate); • # = Wert nach Angaben der Verfasserin berechnet; • W_{D_2O} / W_{TOH} = durch D₂O/ TOH geschätzte Ganzkörperwassermasse (kg); • N = Stickstoff; • LKW_{D_2O} = Differenz zwischen W_{D_2O} und geschätzter Wassermasse im Gastro-Intestinaltrakt

Übersicht 2: Schätzgenauigkeiten für die Proteinmasse (kg) im Leerkörper bei Versuchen mit der Verdünnungsmethode durch verschiedene Autoren (Fortsetzung)

Autor, Jahr	Marker	Tierart, Zahl	Leerkörperproteinmasse			
			Regressionsgleichung	R^2	RSD	RCV
Schmidely et al., 1989	D ₂ O	41 männliche Ziegenlämmer	keine Angabe			
Viljoen et al., 1988	TOH	12 Ziegen (20 bis 60 kg LM)	$-0,698 + 0,227 * W_{TOH}$	0,963	0,38	7,45
Brown, Taylor, 1986	D ₂ O	15 Ziegen (5 trocken, 10 laktierend)	$0,341 + 0,007 * LM + 0,16 * W_{D2O}$ (nur N!)	0,899 #	0,06	0,79 #
Benjamin et al., 1993	TOH	11 Ziegen (4 männlich, 7 weiblich; 8 -14 Monate alt)	$0,211 * W_{TOH} - 0,01 * LM - 0,049 * A + 0,376$	0,884	0,59	
Dunshea et al., 1988	TOH	17 laktierende Ziegen (31 - 63 kg LM)	$-0,424 + 0,026 * LM + 0,142 * W_{TOH}$	0,79	0,65	0,12

• LM = Lebendmasse (kg); • LKM = Leerkörpermasse (kg); • A = Alter (Monate); • # = Wert nach Angaben der Verfasserin berechnet; • W_{D2O} /

W_{TOH} = durch D₂O/ TOH geschätzte Ganzkörperwassermasse (kg); • N = Stickstoff; • LKW_{D2O} = Differenz zwischen W_{D2O} und geschätzter Wassermasse im Gastro-Intestinaltrakt

Übersicht 2: Schätzgenauigkeiten für die Fettmasse (kg) im Leerkörper bei Versuchen mit der Verdünnungsmethode durch verschiedene Autoren
(Fortsetzung)

Autor, Jahr	Marker	Tierart, Zahl	Leerkörperfettmasse (kg)			
			Regressionsgleichung	R ²	RSD	RCV
Crabtree et al., 1974	D ₂ O	12 Bullen (je 6 mit 340 bzw. 420 kg LKM)	$-99,69 + 0,86 * LM - 0,68 * W_{D2O}$	0,87	12,99	13,99
Odwongo et al., 1984	D ₂ O	4 Kälber, 10 Kühe (90 - 562 kg LM)	$0,004 * LKW_{D2O}^{1,828}$	0,834	0,48	0,53#
Bird et al., 1982	TOH	23 Bullen (3-33 Monate, 90-517 kg LM)	$-6,90 + 0,752 * LM - 0,812 * W_{TOH}$	0,985	4,20	10,13#
Chigaru, Holness, 1983	TOH	je 18 Färsen drei verschiedener Rassen (131 - 399 kg LM)	Mashona: $-22,645 + 0,666 * LM - 0,572 * W_{TOH}$ Afrikaner: $-20,945 + 0,596 * LM - 0,548 * W_{TOH}$ Hereford: $-26,629 + 0,814 * LM - 0,805 * W_{TOH}$	0,97 0,96 0,96	4,44 4,96 10,66	10,92 # 14,51 # 16,60 #
Meissner et al., 1980	TOH	20 Bullen von 5 Rassen (101 - 772 kg LM)	$-0,657 * W_{TOH} + 0,616 * LM$		14,6	
Cowan et al., 1980	D ₂ O	36 laktierende Schafe (75 - 80 kg LM)	$0,626 * LM - 0,407 * W_{D2O} - 12,73$		3,60	
Houseman et al., 1978	D ₂ O	38 tragende Schafe (90./140. Trächtigkeitstag)	$-20,7 + 1,01 * LM; -0,8 * W_{D2O}$ (90 Tage) $-24,7 + 1,01 * LM; -0,8 * W_{D2O}$ (140 Tage)		} 2,56	14,88 # 23,27 #

• LM = Lebendmasse (kg); • LKM = Leerkörpermasse (kg); • A = Alter (Monate); • # = Wert nach Angaben der Verfasserin berechnet; • W_{D2O} /

W_{TOH} = durch D₂O/ TOH geschätzte Ganzkörperwassermasse (kg); • N = Stickstoff; • LKW_{D2O} = Differenz zwischen W_{D2O} und geschätzter Wassermasse im Gastro-Intestinaltrakt

Übersicht 2: Schätzgenauigkeiten für die Fettmasse (kg) im Leerkörper bei Versuchen mit der Verdünnungsmethode durch verschiedene Autoren
(Fortsetzung)

Autor, Jahr	Marker	Tierart, Zahl	Leerkörperfettmasse (kg)			
			Regressionsgleichung	R^2	RSD	RCV
Robelin, 1977	D ₂ O	20 Schaflämmer (5 - 33 kg LM)	-1,7627 + 3,546 * lgLM - 2,152 * lgW _{D2O} -1,8664 + 3,727 * lgLM - 2,364 * lgW _{D2O}	} _{0,995}		} _{8,4}
Trigg et al., 1978	D ₂ O	18 Schafe (22 - 35 kg LM)	2,51 + 0,336 * LM - 0,428 * W _{D2O}	0,626	0,75	19,63 #
Trigg et al., 1978	TOH	18 Schafe (22 - 35 kg LM)	0,44 + 0,740 * LM - 0,980 * W _{TOH}	0,882	0,45	11,89 #
Benjamin et al., 1993	TOH	11 Ziegen (4 männlich, 7 weiblich; 8 -14 Monate alt)	-0,849 * W _{TOH} + 0,791 * LM + 0,199 * A - 1,675	0,884	1,11	
Brown, Taylor, 1986	D ₂ O	15 Ziegen (5 trocken, 10 laktierend)	-0,621 + 0,708 * LM - 0,621 * W _{D2O}	0,904 #	1,72	14,22 #
Dunshea et al., 1988	TOH	17 laktierende Ziegen (31 - 63 kg LM)	-0,932 + 0,809 * LM - 0,867 * W _{TOH}	0,83	1,33	0,16
Viljoen et al., 1988	TOH	12 Ziegen (20 bis 60 kg LM)	-1,118 + 0,869 * LM - 0,905 * W _{TOH}	0,994	0,50	7,35

• LM = Lebendmasse (kg); • LKM = Leerkörpermasse (kg); • A = Alter (Monate); • # = Wert nach Angaben der Verfasserin berechnet; • W_{D2O} /

W_{TOH} = durch D₂O/ TOH geschätzte Ganzkörperwassermasse (kg); • N = Stickstoff; • LKW_{D2O} = Differenz zwischen W_{D2O} und geschätzter Wassermasse im Gastro-Intestinaltrakt

Übersicht 2: Schätzgenauigkeiten für die Aschemasse (kg) im Leerkörper bei Versuchen mit der Verdünnungsmethode durch verschiedene Autoren
(Fortsetzung)

Autor, Jahr	Marker	Tierart, Zahl	Leerkörperaschemasse (kg)			
			Regressionsgleichung	R^2	RSD	RCV
Crabtree et al., 1974	D ₂ O	12 Bullen (je 6 mit 340 bzw. 420 kg LKM)	keine Angabe			
Odwongo et al., 1984	D ₂ O	4 Kälber, 10 Kühe (90 - 562 kg LM)	$0,0381 * LKW_{D2O}^{1,057}$	0,979	0,30	2,76 #
Bird et al., 1982	TOH	23 Bullen (3-33 Monate, 90-517 kg LM)	$0,56 + 0,036 * LM$	0,954	1,05	9,6 #
Cowan et al., 1980	D ₂ O	36 laktierende Schafe (75 - 80 kg LM)	keine Angabe			
Houseman et al., 1978	D ₂ O	38 tragende Schafe (90./140. Trächtigkeitstag))	keine Angabe			
Robelin, 1977	D ₂ O	20 Schaflämmer (5 - 33 kg LM)	keine Angabe			
Brown, Taylor, 1986	D ₂ O	15 Ziegen (5 trocken, 10 laktierend)	$0,727 + 0,0172 * LM + 0,0089 * W_{D2O}$	0,484 #	0,27	13,74 #
Benjamin et al., 1993	TOH	11 Ziegen (4 männlich, 7 weiblich; 8 -14 Monate alt)	$0,047 * W_{TOH} + 0,006 * LM - 0,006 * A + 0,104$	0,933	0,13	
Dunshea et al., 1988	TOH	17 laktierende Ziegen (31 - 63 kg LM)	$0,204 + 0,027 * LM$	0,82	0,12	0,08
Viljoen et al., 1988	TOH	12 Ziegen (20 bis 60 kg LM)	$-0,261 + 0,06 * W_{TOH}$	0,968	0,09	7,33

• LM = Lebendmasse (kg); • LKM = Leerkörpermasse (kg); • A = Alter (Monate); • # = Wert nach Angaben der Verfasserin berechnet; • W_{D2O} /

W_{TOH} = durch D₂O/ TOH geschätzte Ganzkörperwassermasse (kg); • N = Stickstoff; • LKW_{D2O} = Differenz zwischen W_{D2O} und geschätzter Wassermasse im Gastro-Intestinaltrakt

Im Mittelpunkt der in den Übersichten 1 bis 9 angeführten Forschungsarbeiten steht die Schätzgenauigkeit der Verdünnungsmethode und deren Einflussfaktoren. Danach besteht ein enger Zusammenhang zwischen der mittels der Verdünnungsmethode geschätzten und der tatsächlichen Wassermasse eines Körpers (Robelin, 1973). Generell ist festzuhalten, dass die Verdünnungsmethode mittels der Marker D_2O und TOH die Ganzkörperwassermasse überschätzt. Das Ausmaß der Überschätzung schwankt zwischen 2,2 % (Schmidely et al., 1989) bis 15 % (Sheng und Huggings, 1979). In der Literatur werden verschiedene Faktoren als mögliche Ursache angeführt und im Folgenden zusammengefasst.

Die Genauigkeit der Methode wird u. a. durch die Variabilität der Wassermasse im Gastro-Intestinaltrakt beeinflusst. Dies stellt insbesondere bei Wiederkäuern ein Problem dar. Hier kann die Wassermasse im Gastro-Intestinaltrakt bis zu 30 % der Ganzkörperwassermasse ausmachen und sehr variabel sein, im Gegensatz zu Monogastriern mit einem Anteil bis zu 5 % (Odwongo et al., 1984). Die unterschiedlichen Wassermassen des Gastro-Intestinaltraktes werden durch die Fütterung, die Umwelt und tierbedingte Effekte verursacht (Arnold et al., 1985). Die Überschätzung der Ganzkörperwassermasse durch die Verdünnungsmethode erklärt sich möglicherweise dadurch, dass keine Nüchterung vor der Markerapplikation durchgeführt worden ist (Viljoen et al., 1988; Meissner et al., 1980). Die variierende Chymusmasse bzw. Wassermasse im Chymus kann auch eine fehlerhafte Schätzung der Leerkörpermasse und der Leerkörperzusammensetzung zur Folge haben. Dies zeigt z. B. eine Untersuchung an laktierenden Kreuzungsschafen, bei der sich die unterschiedliche Füllung des Gastro-Intestinaltraktes in Abhängigkeit vom Laktationsstadium auf die Genauigkeit der Schätzung der Leerkörperfettmasse auswirkte (Cowan et al., 1980). Die Verdünnungsmethode kann offensichtlich nur unter konstanten und einheitlichen Versuchsbedingungen zuverlässige Schätzergebnisse liefern. Auch Arnold und Trenkle (1986) bestätigen diese Einschränkungen bei der Anwendbarkeit der Methode. Sie änderten die Zusammensetzung der Futterration für Bullen, so dass die Wassermasse im Pansen anstieg und stellten fest, dass die Verdünnungsmethode daraufhin die Wassermasse des Leerkörpers unterschätzte.

Der Wasserumsatz übt ebenfalls einen Einfluss auf die Genauigkeit der Verdünnungsmethode aus, wie z. B. Versuche an laktierenden Ziegen zeigten (Brown und Taylor, 1986). Eine Veränderung des Wasserumsatzes kann u. a. durch unterschiedliche Futtermittel hervorgerufen werden. Dies spielt vor allem dann eine Rolle, wenn mehrere Blutproben über einen Zeitraum von bis zu 48 Stunden gezogen werden, um die Veränderung der Markerkonzentration zu studieren.

Bis zu 2 % der Überschätzung der Ganzkörperwassermasse bei Anwendung der Verdünnungsmethode wird durch den Austausch des Wasserstoffs im D₂O bzw. TOH mit dem labilen Wasserstoff in organischen Molekülen erklärt. Verluste des Markers über die Atemwege, die Haut und den Urin treten zwar auf, können aber ebenfalls keine ausreichende Erklärung für die Überschätzung liefern (Sheng und Huggings, 1979).

In einem Versuch an Ratten mit verschiedenen Wachstumsintensitäten wurde untersucht, inwieweit die Wachstumsintensität das Ausmaß der Überschätzung des Ganzkörperwassergehaltes beeinflusst. Das Ergebnis war, dass die Überschätzung um so höher ausfällt, je schneller die Tiere wachsen, da hier ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen der Stoffwechselaktivität und dem Wasser- bzw. Proteingehalt besteht. Die höhere Wachstumsrate wird durch einen stärkeren Aufbau von Protein gesteuert, was wiederum ein höheres Potential für den Austausch des TOH-Wasserstoffes mit dem labilen Wasserstoff des Proteins bedeutet (Strube und Schülke, 1980).

Das Ausmaß der Überschätzung der Ganzkörperwassermasse wird auch durch Rasseneffekte erklärt. So wurde in einem Versuch an Färsen dreier verschiedener Rassen die Ganzkörperwassermasse im unterschiedlichen Ausmaß überschätzt, nämlich um 5,6 %, 7,1 % bzw. 10,6 %. Demnach sind für jede Rasse spezifische Regressionsgleichungen aufzustellen (Chigaru und Holness, 1983).

Ein direkter Vergleich der Schätzgenauigkeit bei der Verwendung der Marker D₂O und TOH ist in einer Untersuchung von Trigg et al. (1978) vorgenommen worden. Die Autoren injizierten wachsenden Schafen, die in drei Gruppen mit jeweils unterschiedlicher Fütterungsintensität eingeteilt waren, beide Marker gleichzeitig. Die chemische Analyse der Tierkörper zeigte, dass die Ganzkörperwassermasse durch D₂O um 2,4 % überschätzt, durch TOH dagegen um 4,6 % unterschätzt wurde, wofür die Autoren keine plausible Erklärung geben konnten. Die Schätzung der Stickstoffmasse im Leerkörper anhand der geschätzten Ganzkörperwassermasse und der Lebendmasse als unabhängige Variable ergab die gleiche Genauigkeit für D₂O und TOH. Dagegen war die Schätzgenauigkeit bei Fett für TOH höher als bei D₂O (siehe Übersicht 2, S. 16 ff.).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Untersuchungen an Rindern, Schafen und Ziegen eine relativ gute Übereinstimmung des anhand von D₂O bzw. TOH geschätzten

Ganzkörperwassers mit der durch Schlachtungen ermittelten Wassermasse ergaben. Jedoch können Faktoren wie eine unterschiedliche Füllung des Gastro-Intestinaltraktes, der Zeitraum zwischen der Markerapplikation und der Blutprobenentnahme und eine unvollständige Erfassung der Ausscheidungen (Midwood et al., 1993) die Aussagegenauigkeit dieser Methode negativ beeinflussen. Auch über den Schweiß und die Ausatemluft können Markerverluste auftreten (Panaretto, 1968). Ein weiteres Problem bildet die Überschätzung der Ganzkörperwassermasse, die u. a. durch einen teilweisen Austausch des Isotopes mit dem Nichtwasser-Wasserstoff in organischen Molekülen erklärt wird (Odwongo et al., 1984). Die Untersuchungen zeigten außerdem die Abhängigkeit der Ganzkörperwassermasse eines Körpers von der Lebendmasse und vom physiologischen Status. Somit sind die bisher aufgestellten Regressionsgleichungen begrenzt auf spezifische physiologische Stadien. Darüber hinaus gibt es kaum (brauchbare) Untersuchungen, die Versuche an Ziegenlämmern unter konstanten Versuchsbedingungen beschreiben. Insgesamt gesehen ist die Anwendung dieser Marker, speziell von D_2O , praktikabel und relativ kostengünstig.

Mit Hilfe einer Harnstoffverabreichung lässt sich ebenfalls das Volumen des Körperwassers bestimmen. Das Verteilungsgleichgewicht wird zwar nach wenigen Minuten erreicht, jedoch ist die Erfassung der endogenen Harnstoffproduktion anhand von Kontrollblutproben nötig. Außerdem kann die Harnstoffgabe die endogene Harnstoffproduktion beeinflussen; es sollte daher mit markiertem Harnstoff gearbeitet werden (Hörnicker, 1961).

Harnstoff ist ein preiswerter Marker und erfordert nur geringe technische Anforderungen bei der Bestimmung seiner Konzentration im Blutplasma. Die aufgestellten Regressionsgleichungen sind nur von eingeschränkter Gültigkeit und müssen daher bei jedem Versuch erst an einigen Tieren der zu untersuchenden Tiergruppe überprüft werden (Rule et al., 1986). Bei laktierenden oder trockenstehenden Ziegen wurde die Leerkörperwassermasse um 6,9 % überschätzt (Bas et al., 1992). Eine Unterschätzung der Wassermasse um 2 % ermittelten dagegen Meissner et al. (1980) an Rindern verschiedener Rassen. Alle genannten Autoren haben die Ergebnisse auf die Wassermasse des Leerkörpers bezogen. Der Hintergrund hierfür ist, dass die Harnstoffkonzentration in den Vormägen von Wiederkäuern auch nach einer intravenösen Harnstoffinjektion konstant bleibt (Gärtner, 1959, zitiert bei Wiedemann, 1984). Es diffundiert nur eine geringe Masse des injizierten Harnstoffes in das Wasser des Gastro-Intestinaltraktes. Daher besteht eine engere Beziehung zwischen dem Harnstoffverteilungsraum und dem Leerkörperwasser als dem Ganzkörperwasser (Bartle et al., 1987). Dagegen

schreibt Hörnicke (1966), dass bei Wiederkäuern eine Fehlerquelle aufgrund der Harnstoffhydrolyse im Pansen besteht.

In einigen Versuchen sind verschiedene Marker parallel an einer Tiergruppe eingesetzt worden. Diese Vorgehensweise erlaubt eine direkte Vergleichbarkeit der Schätzgenauigkeit der jeweiligen Marker. In der bereits zitierten Arbeit von Meissner et al. (1980), in der die Körperzusammensetzung von Bullen fünf verschiedener Rassen dargestellt wird, zeigen die Autoren, dass TOH die Leerkörperwassermasse um 9 % überschätzte, wobei in diesem Fall die TOH-Konzentration bereits fünf Minuten nach der Injektion gemessen wurde; Harnstoff dagegen unterschätzte die Leerkörperwassermasse um 2 % (s. o.). In einem anderen Versuch wurden laktierenden Ziegen D₂O und Harnstoff injiziert. Die anschließende chemische Analyse der Tierkörper ergab, dass anhand der D₂O-Applikation die Fettmasse des Leerkörpers genauer geschätzt werden konnte als durch die Harnstoffinjektion (Bas et al., 1990).

Ein weiterer Marker ist das stabile Sauerstoffisotop (¹⁸O). Er wird nicht ausgetauscht mit dem Nichtwasser-Wasserstoff, aber die Analyse ist aufwendig und der Kapitalaufwand entsprechend hoch (Lukaski, 1987). Neuere Untersuchungen an Tieren liegen kaum vor. Nach einer intravenösen Dosis von 60 mg ¹⁸O pro kg LM an wachsenden Miniatur-Schweinen ergab die Ganzkörperanalyse, dass dieser Marker die Ganzkörperwassermasse um im Mittel 4,3 % überschätzte. Außerdem war das Ausmaß der Überschätzung bei wachsenden Tieren signifikant höher als bei ausgewachsenen Tieren (Sheng et al., 1986).

Eine andere Möglichkeit zur Schätzung des Ganzkörperwassers ist durch die Verwendung des Markers Antipyrin gegeben. Es handelt sich dabei um ein Pyrazolonderivat, das als Analgetikum in der Medizin eingesetzt wird. Der Marker ist preiswert und die Bestimmung im Blutserum einfach (Hörnicke, 1966). Im Rahmen eines Versuches wurde wachsenden und adulten Schafböcken vor der Schlachtung eine intravenöse Dosis von 0,5 ml einer 12%igen Antipyrin-Lösung pro kg LM injiziert und die Konzentration des Markers im Blutserum gemessen (Rakshe und Patle, 1983). Die anschließende Schlachtung und Analyse der Tierkörper ergab, dass Antipyrin den wahren Leerkörperwassergehalt unterschätzte, wobei die Unterschätzung mit rund 13 % bei den Jährlingen geringer ausfiel als bei den erwachsenen Tieren (rund 18 %). Eine Erklärung wird in der Bindung des Markers an Plasmaproteine und in der individuell unterschiedlichen Verstoffwechselung und damit einer ungleichmäßigen Verteilung des Markers gesehen (Rakshe und Patle, 1983; Wiedemann, 1984).

Als Fazit der Literaturlauswertung sind folgende Punkte festzuhalten:

1. Wesentliche Kriterien für die Wahl einer *in vivo*-Untersuchungsmethode sind die Kosten, die Praktikabilität und die Präzision. Allen (1990) und Lukaski (1987) stellen in ihren Übersichtsarbeiten verschiedene Methoden zusammen und vergleichen sie unter den genannten Gesichtspunkten (siehe Übersicht 3, S. 31). Das Ergebnis zeigt, dass bei den meisten Methoden niedrige Kosten mit einer ungenügenden Genauigkeit verbunden sind und umgekehrt. So erzielt man z. B. durch die Kernspintomographie oder die Neutronenaktivierung sehr gute Resultate; die technische Einrichtung erfordert jedoch einen enormen finanziellen Aufwand. Einfach handzuhabende und preiswertere Methoden, wie z. B. der "body condition score" (BCS) oder die Messung des Durchmessers der Fettzellen, erbringen jedoch meist ungenaue Ergebnisse. Daneben sind vielfach die Methoden wenig praktikabel beim Einsatz unter Feldbedingungen. Eine Mittelstellung nehmen die Ultraschalltechnik und die Verdünnungsmethoden ein. Während jedoch die Ultraschalluntersuchung vor allem für die Schätzung der Schlachtkörperzusammensetzung verwendet wird, kann mit Hilfe der Verdünnungsmethoden die Leerkörperzusammensetzung ermittelt werden, was für die Erforschung der Verwertung der aufgenommenen Futtermittel und des Einflusses verschiedener Futterrationen auf die Leerkörperzusammensetzung von entscheidender Bedeutung ist.
2. Die Untersuchungen wurden vorwiegend an adulten Tieren durchgeführt, so dass nur wenige Resultate über die Anwendbarkeit der Methoden an wachsenden Tieren vorliegen. Darüber hinaus waren Ziegen bisher selten Gegenstand der Forschung, so dass es nur im geringen Umfang fundierte Kenntnisse über die Veränderung der Körperzusammensetzung von Ziegenlämmern gibt.

In Anbetracht der Ergebnisse, zu denen die Literaturrecherche geführt hat, erscheint es sinnvoll, im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit die Anwendbarkeit der Verdünnungsmethode anhand des Einsatzes von Deuteriumoxid bei Ziegenlämmern zu überprüfen. Der Grund für diese Auswahl liegt im Wesentlichen darin, dass die Verdünnungsmethode bisher vielfach bei adulten Tieren angewandt worden ist, mit überwiegend guten Ergebnissen. Es stellt sich die Frage, ob diese Methode auch bei Ziegenlämmern in allen Wachstumsabschnitten erfolgreich angewendet werden kann, um kleine Unterschiede in der Zusammensetzung des Körpermassezuwachses zu erfassen. Hierbei ist außerdem zu prüfen, welchen Einfluss Faktoren wie die Nüchterungsdauer, der Zeitraum zwischen der Markerapplikation und

der Blutprobenentnahme und die Erfassung der Ausscheidungen auf die Genauigkeit der Schätzung der Ganzkörperwassermasse bei wachsenden Ziegenlämmern haben. Daneben muss untersucht werden, inwieweit Versuchsbedingungen wie z. B. die Fütterungsintensität die Leerkörperzusammensetzung und damit indirekt die Aussagegenauigkeit der Verdünnungsmethode beeinflussen.

Relativ niedrige Kosten und die Praktikabilität sprechen ebenfalls für die Anwendung der Verdünnungsmethode. Darüber hinaus kann diese *in vivo*-Methode durch die wiederholbare Anwendbarkeit am selben Tier einen Beitrag zur Erforschung des Wachstums und der Körperzusammensetzung von Ziegenlämmern als Effekt der Energie- und Nährstoffaufnahme leisten.

Übersicht 3: Tabellarische Übersicht über in vivo-Untersuchungsmethoden

Methode	Anwen- dung an Menschen	Anwen- dung an Tieren	Technischer Aufwand	Präzision	Kosten
Morphologische Messungen					
Hautfaltendicke	ja	nein	2	2	1
Körperkonditions-Skala	nein	ja	2	2	1
Schwanzumfangs-Skala	nein	ja	2	2	1
Fettzellenmessung	nein	ja	4	2	2
Densitometrie					
Immersion	ja	ja	4	5	3
Metaboliten, Hormone, Kalium					
Kreatinin, 3-Methylhistidin	ja	ja	3	2	2
Unveresterte Fettsäuren	unbekannt	ja	3	1	2
T ₃ , T ₄	unbekannt	ja	4	1	3
Insulin	unbekannt	ja	4	1	3
Adrenalin	unbekannt	ja	4	1	3
Wachstumshormon	unbekannt	ja	4	1	3
Kalium	ja	ja	4	4	4
Hochtechnologie-Methoden					
Neutronenaktivierung	ja	ja	5	5	5
Photonen-Absorptionsmessung	ja	ja	4	4	4
Elektrische Leitfähigkeit	ja	ja	4	3	4
Infrarot-Wechselwirkung	ja	nein	3	3	4
Ultraschall	ja	ja	3	4	3
Computertomographie	ja	ja	5	5	5
Kernspintomographie	ja	ja	5	5	5
Verdünnungsmethoden					
D ₂ O	ja	ja	3	4	3
TOH	ja	ja	3	4	3
¹⁸ O	ja	ja	5	4	5
Harnstoff	ja	ja	3	3	2
Antipyrin	ja	ja	3	3	3

Quelle: Lukaski, 1987; Allen, 1990; ergänzt; Skala: 1 = sehr niedrig; 5 = sehr hoch

3 Material und Methoden

3.1 Untersuchte Tiere

Der Versuch zur Bestimmung der Körperzusammensetzung wachsender Ziegenlämmer fand in den Jahren 1993 und 1994 statt und bestand aus zwei Versuchsperioden, in denen insgesamt 53 Ziegenlämmer der Rasse „Bunte Deutsche Edelziege“ verwendet wurden. Die zur Zucht verwendeten fünfzehn Muttertiere der ersten Versuchsperiode wurden durch vier Jungziegen in der zweiten Versuchsperiode ergänzt. Zwei Böcke kamen jeweils in beiden Jahren zum Deckeinsatz.

Die folgende Übersicht 4 enthält Angaben zum Geschlecht und Geburtstyp der Ziegenlämmer.

Übersicht 4: Verteilung der Ziegenlämmer nach Geschlecht und Geburtstyp

Geburtstyp	1. Versuchsperiode (1993)	2. Versuchsperiode (1994)
Einling	1 w, 1 Zwitter	4 m, 2 w
Zwilling	6 m, 2 w, 1 Zwitter	4 m, 11 w
Drilling	7 m, 3 w	1 m, 7 w
Vierling	1 m, 1 w	1 m
Summe	23 Tiere	30 Tiere

m = männlich, w = weiblich

Die Tiere wurden sofort nach der Geburt vom Muttertier getrennt und in Einzelkäfigen in einer temperaturregulierten Experimentaleinheit untergebracht. Diese Käfige wurden bis zum Absetzen der Lämmer bei 12 kg Lebendmasse mit Gerstenstroh eingestreut. Die Umgebungstemperatur war auf 18° C eingestellt bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 65 Prozent. Die Beleuchtungsdauer betrug 15 Stunden pro Tag. Der Tierversuch war tierschutzrechtlich genehmigt.

Jede Versuchsperiode war in fünf Wachstumsabschnitte mit je vier Kilogramm Lebendmasse differenz untergliedert. Diese Einteilung wurde vorgenommen, um relativ kleine Unterschiede in der Körperzusammensetzung in Abhängigkeit von der Lebendmasse zu erhalten und um zu überprüfen, ob es möglich ist, die Unterschiede mit Hilfe der Verdünnungsmethode aufzudecken. Am Ende jedes Wachstumsabschnittes wurde an den Tieren eine Markerin-

jektion vorgenommen und ein Teil der Tiere im Anschluss an die letzte Blutprobe einer Vergleichsschlachtung unterzogen, wobei die geschlachteten Tiere entsprechend dem jeweiligen Abschnitt die Tiergruppen 1 bis 5 (TG) bildeten. Übersicht 5 stellt den Versuchsplan dar.

Übersicht 5: Versuchsplan für beide Versuchsperioden

Wachstumsabschnitt	Lebendmasse	Lebendmasse	1. Versuchsperiode		2. Versuchsperiode	
			D ₂ O-Injektion an...Tieren	Schlachtung von...Tieren	D ₂ O-Injektion an...Tieren	Schlachtung von...Tieren
	(kg)	bei Injektion bzw. Schlachtung (kg)				
1	Geburt - 5,0	4,0 - 5,0	13	5 (TG 1)	30	6 (TG 1)
2	5,1 - 9,0	8,0 - 9,0	18	3 (TG 2)	24	6 (TG 2)
3	9,1 - 13,0	12,0 - 13,0	15	5 (TG 3)	18	6 (TG 3)
4	13,1 - 17,0	16,0 - 17,0	10	5 (TG 4)	12	6 (TG 4)
5	17,1 - 21,0	20,0 - 21,0	5	5 (TG 5)	6	6 (TG 5)
Summe			61	23	90	30

Anmerkung: TG = Tiergruppe

Während der ersten beiden Lebenstage erhielten die Ziegenlämmer bis zu 1,5 kg Ziegenkolostrum pro Tag. Am vierten Tag wurde ihnen ein Vitaminpräparat injiziert¹.

Die Lämmer erhielten vom dritten Lebenstag bis zum Absetzen täglich 1000 g Ziegenvollmilch, verteilt auf zwei Tränkzeiten; dazu wurde Mischfutter bis maximal 600 g verabreicht. Nach dem Absetzen erhielten sie Mischfutter entsprechend des 2,4fachen Erhaltungsbedarfs $(0,45 \text{ MJ ME pro kg LM}^{0.75})^2$ einschließlich 100 g gehäckseltes Gerstenstroh pro Tag. Die aufgenommenen Futtermassen wurden täglich durch Rückwaage ermittelt und wöchentliche Futtermittelproben einer „Weender“-Analyse unterzogen. Die Zusammensetzung der verwendeten Futtermittel ist aus dem Abschnitt 9.2 des Anhangs zu entnehmen. Alle Tiere hatten jederzeit freien Zugang zum Wasser.

¹ Präparat „Ursovit“ (Vit. A-D₃-E), Fa. Bernburg AG

² Quelle: NRC 1981

3.2 Merkmalerhebung

Eine Zusammenstellung der Zeitpunkte für die Datenerhebung befindet sich in Übersicht 6.

Übersicht 6: Zeitpunkte bei der Datenerhebung

Datenerhebung	Zeitpunkt
Wägung der Tiere	Dreimal wöchentlich
Futtermaufnahme	Täglich
D ₂ O-Injektion	Am Ende jedes Wachstumsabschnittes
Sammlung des ausgeschiedenen Kot-Harn-Gemisches zwischen der Markerinjektion und der letzten Blutprobe	Am Ende des 2. bis 5. Wachstumsabschnittes
Schlachtung im Anschluss an die letzte Blutprobe	Am Ende jedes Wachstumsabschnittes

3.2.1 Lebendmasseentwicklung

Alle Tiere wurden mindestens dreimal pro Woche im zweitägigen Abstand auf einer Federwaage³ mit einer Ablesegenauigkeit von 50 g morgens nüchtern gewogen.

3.2.2 Bestimmung des Ganzkörperwassergehaltes anhand der D₂O-Applikation

Für die Bestimmung des Ganzkörperwassergehaltes anhand der D₂O-Applikation wurde die Gleichgewichtsmethode angewandt, bei der nach Erreichen des Verteilungsgleichgewichtes, d. h. einer gleichmäßigen Verteilung des Markers im Körperwasser, zwei Blutproben im Abstand von einer halben Stunde gezogen werden und die mittlere D₂O-Konzentration im Blutwasser zur Berechnung des Ganzkörperwassergehaltes dient. Für die gleichmäßige Verteilung des Markers wurde ein Zeitraum von 4 bis 5 Stunden unterstellt in Anlehnung an den durch Robelin (1977) durchgeführten Versuch. Die mehrfachen Injektionen am selben Tier (vgl. Übersicht 5) sollten zusätzliche Informationen über die Ausscheidung von D₂O im Kot und Harn während der Wartezeit bis zum Entnehmen der Blutproben liefern, um den Einfluss des Markerverlustes auf die Schätzung des Ganzkörperwassergehaltes zu quantifizieren.

³ Federwaage mit Wägebereich 1 bis 25 kg, Murrhardter Waagenfabrik

a) 1. Versuchsperiode:

Bei Erreichen des Endes eines jeweiligen Wachstumsabschnittes wurden die Tiere 14 Stunden (Tiergruppen 1 und 2) bzw. 18 Stunden (Tiergruppen 3 bis 5) genüchtert. Die verlängerte Nüchterungsdauer sollte der Entwicklung des Vormagensystems und damit einer stärkeren Füllung des Gastro-Intestinaltraktes Rechnung tragen. Nach Ablauf der Nüchterungszeit wurden die Tiere gewogen. Im Anschluss daran erhielten sie eine intravenöse Injektion von 0,7 g D₂O pro kg Lebendmasse. Während der sich anschließenden Wartezeit bis zum Erreichen des Verteilungsgleichgewichtes von 4 und 4,5 Stunden (Tiergruppen 1 und 2) bzw. 5 und 5,5 Stunden (Tiergruppen 3 bis 5) erhielten die Tiere weder Wasser noch Futter.

Nach der Wartezeit wurden jeweils zweimal 10 ml Blut im Abstand von einer halben Stunde entnommen und die mit EDTA versetzten Blutprobenröhrchen bis zur Durchführung der Sublimation bei -20 °C tiefgefroren.

In der ersten Versuchsperiode wurden die Markerinjektionen mit Hilfe einer standardmäßigen Injektionskanüle vorgenommen. Dabei kam es in der Spritze zu einer Vermischung des Markers mit dem aspirierten Blut, so dass der Markerrest und damit die injizierte Markerdosis nur näherungsweise ermittelt werden konnten.

b) 2. Versuchsperiode:

Im Unterschied zur 1. Versuchsperiode betrug die Nüchterungsdauer für alle Tiere einheitlich 13 Stunden. Diese Veränderung zur 1. Versuchsperiode wurde gewählt, da sich die D₂O-Konzentrationen bei den parallelen Blutproben der dritten Injektion in der ersten Versuchsperiode trotz der Nüchterungsdauer von nur 14 Stunden nicht signifikant unterschieden, obwohl sich die Tiere zu diesem Zeitpunkt bereits zum Wiederkäuer entwickelt hatten. Daraus konnte gefolgert werden, dass eine Verlängerung der Nüchterungsdauer von 14 auf 18 Stunden vor dem vierten und fünften Injektionstermin als eine Voraussetzung für die gleichmäßige Verteilung des Markers im Körperwasser nicht erforderlich war. Darüber hinaus sollte der Einfluss der Entwicklung des Gastro-Intestinaltraktes auf das Verteilungsgleichgewicht des Markers untersucht werden.

Unmittelbar vor der Markerinjektion wurden bei den Tieren der Gruppen 2 bis 5, die bereits zu Ende des ersten Wachstumsabschnittes eine Markerinjektion erhalten hatten, 20 ml Blut

zur Bestimmung der ggf. vorhandenen Restkonzentration an D₂O von der vorherigen Injektion entnommen (Blindwert). Für die Injektion des Markers wurde ein Perfusionsbesteck („Vasuflo“) benutzt und der Perfusionsschlauch nach der Injektion mit 0,9-prozentiger Kochsalzlösung gespült, um eine vollständige Injektion des eingewogenen Markers zu erreichen.

Bei den zur Schlachtung bestimmten Tieren wurde während der Blutprobenentnahme nach der Wartezeit 20 ml Blut für die Ermittlung der Bluttrockensubstanz entnommen. Im übrigen wurde verfahren wie während der 1. Versuchsperiode.

Eine detaillierte Beschreibung der Vorgehensweise bei der Markerinjektion findet sich im Anhang (Abschnitt 9.7).

3.2.3 Erfassung des ausgeschiedenen Kot-Harn-Gemisches zur quantitativen Bestimmung der D₂O-Ausscheidung

Während der Wartezeit (Zeitraum zwischen Injektion und letzter Blutprobenentnahme) wurde das ausgeschiedene Kot-Harn-Gemisch gesammelt. Dieses wurde gewogen und bis zur Durchführung der Sublimation bei -20 °C tiefgefroren.

3.2.4 Merkmalserhebung bei der Schlachtung

a) 1. Versuchsperiode:

Nach der letzten Blutprobenentnahme wurden die zur Schlachtung vorgesehenen Tiere der Gruppen 1 und 2 wie beschrieben (siehe Abschnitt 3.1) getränkt. Die Tiere der übrigen Gruppen bekamen kein Futter, hatten aber freien Zugang zum Wasser. Unter der Annahme, dass während der 18,5- bzw. 19,5ständigen Wartezeit zwischen der letzten Blutprobenentnahme und der Schlachtung keine wesentliche Veränderung der Lebendmasse bzw. Inhalt des Gastro-Intestinaltraktes stattfindet, wurden die Lämmer 18,5 Stunden (Gruppen 1 und 2) bzw. 19,5 Stunden (Gruppen 3 bis 5) nach der letzten Blutprobenentnahme gewogen und zum stations-eigenen Schlachthaus gebracht. Nach der Betäubung mit einem Bolzenschussgerät erfolgte das Ausbluten, wobei sowohl das Blut quantitativ erfasst und gewogen als auch eine Blutprobe von 20 ml für die Bestimmung der Bluttrockensubstanz entnommen wurde.

Die Körper wurden anschließend in folgende Teile zerlegt und deren Massen erfasst:

- Kopf, Fell und Füße
- Schlachtkörper

- Innere Organe
- Bauchhöhlenfett (Gekrösefett u.a.)
- Magen-Darm-Trakt (Gastro-Intestinaltrakt)
- Harnblase
- Gallenblase.

Kopf, Fell und Füße wurden vom Tierkörper abgetrennt. Hierdurch sollte die Bedeutung dieser Fraktion für die Bestimmung des Ganzkörperwassergehaltes und der Leerkörperzusammensetzung erfasst und festgestellt werden, ob für Feldversuche mit geringer technischer Ausstattung eine solche Vereinfachung der chemischen Analyse zulässig ist.

Die Schlachtkörper wurden direkt nach der Schlachtung (warm) und nach einer 24stündigen Aufbewahrung bei 4 °C im Kühlraum (kalt) gewogen. Die Differenz zwischen dem Warm- und dem Kaltgewicht wurde als Wasserverlust angenommen und bei der Berechnung des Ganzkörperwassergehaltes berücksichtigt.

Die Bestimmung der Masse des Inhaltes des Gastro-Intestinaltraktes, der Harn- und der Gallenblase erfolgte durch eine Differenzwägung im vollen und leeren Zustand. Die Inhalte wurden vermengt (Chymus) und eingefroren. Die Wägung der gewaschenen Därme fand nach einer 24stündigen Kühlung statt. Sämtliche Teile wurden in Polyethylenbeuteln eingeschweißt und bei -20 °C tiefgefroren.

b) 2. Versuchsperiode:

Die Schlachtung erfolgte direkt im Anschluss an die letzte Blutprobenentnahme. Diese Änderung wurde durchgeführt, da sich in der ersten Versuchsperiode die Lebendmassen der Tiere am Tag der Injektion signifikant von denen am Tag der Schlachtung unterschieden, so dass von einer Änderung der Chymusmasse und mithin einer Beeinflussung des Ganzkörperwassergehaltes ausgegangen werden musste.

Alle Schlachtmaßnahmen erfolgten wie in der 1. Versuchsperiode. Die Tierkörper wurden in folgende Teile zerlegt und deren Massen erfasst:

- Teilkörper (entblutet; ohne Gastro-Intestinaltrakt, Harn- und Gallenblase; mit Kopf, Fell und Füßen)

- Gastro-Intestinaltrakt
- Harnblase
- Gallenblase.

Nach der Entnahme des Gastro-Intestinaltraktes, der Harn- und der Gallenblase wurde der entblutete Teilkörper warm und, nach einer 24stündigen Aufbewahrung im Kühlraum, kalt gewogen.

3.3 Analysen

Die nachfolgend geschilderten analytischen Verfahren zur Aufbereitung und chemischen Analyse der Schlachtfractionen und Futtermittel sind in Übersicht 7 zusammengestellt.

3.3.1 Aufbereitung der Schlachtfractionen; chemische Analyse zur Berechnung der Leerkörperzusammensetzung und des Ganzkörperwassergehaltes

a) 1. Versuchsperiode:

Die gefrorenen Schlachtkörper wurden zunächst in kleine Stücke zersägt, anschließend in einem Umlaufcutter⁴, dann mit Hilfe eines Durchlaufcutters⁵ homogenisiert. Die Fraktion Kopf, Fell und Füße wurde ebenfalls im Umlaufcutter zerkleinert. Nach dem Auftauen der inneren Organe und des Gastro-Intestinaltraktes erfolgte deren Zerkleinerung durch einen Fleischwolf mit zwei Lochscheiben von 3 bzw. 5 mm Lochgröße, um eine möglichst homogene Probensubstanz für die sich anschließende „Weender“-Analyse“ zu erhalten.

⁴ Umlaufcutter Fa. Krämer und Grebe

⁵ Durchlaufcutter Fa. Stephan und Söhne, Typ MC 15, 2900 U * min⁻¹

Übersicht 7: Verwendete Verfahren bei der Analyse der Körperbestandteile und der Futtermittel

Verfahren/Material	Leerkörper	Blut	Chymus	Kot-Harn-Gemisch	Futtermittel
Aufbereitung	Zerkleinerung im Cutter bzw. Fleischwolf	entfällt	Homogenisierung	Homogenisierung	Zerkleinerung mittels Mörser
Gefriertrocknung	48 Stunden	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt
„Weender“-Analyse:	lt. VDLUFA-Verbandsmethode				lt. VDLUFA-Verbandsmethode
a. Trocknung		Vortrocknung über Nacht bei 60 °C; Schlußtrocnung 4 Stunden bei 105 °C	Trocknung während 40 Stunden bei 105 °C	Trocknung während 40 Stunden bei 105 °C	
b. Rohprotein, Rohfett, Rohasche		lt. VDLUFA-Verbandsmethode	lt. VDLUFA-Verbandsmethode	entfällt	

Proben aus den homogenisierten Schlachtkörpern und Innereien wurden während 48 Stunden gefriergetrocknet und das getrocknete Material mit Ausnahme der Proben von Kopf, Fell und Füßen in einer handelsüblichen Kaffeemühle homogenisiert. Das Bauchhöhlenfett wurde zunächst komplett gefriergetrocknet und dann von Hand zerkleinert. Die so aufbereiteten Proben wurden einer Analyse nach „Weender“ unterzogen (VDLUFA-Verbandsmethode; Methodenbuch Bd. 3). Die Bestimmung des Trockensubstanzgehaltes erfolgte nach einer vierstündigen Trocknung bei 105 °C und die des Rohproteingehaltes nach der Kjeldahl-Methode. Für die Bestimmung des Rohfettgehaltes wurden die Proben zunächst 20 Minuten mit 4N-Salzsäure hydrolysiert. Die Filterpapiere mit den Proben blieben über Nacht bei 60 °C im Trockenschrank. Die hydrolysierten Proben wurden dann in Petrolether 30 Minuten extrahiert und das Lösungsmittel 2,5 Stunden lang destilliert. Die Bestimmung des Rohaschegehaltes erfolgte im Muffelofen bei 550 °C (16 Stunden bei den Proben der Schlachtkörper und des Bauchhöhlenfettes, 32 Stunden bei den Proben der Innereien).

Die Proben aus dem homogenisierten Chymus und dem Kot-Harn-Gemisch wurden bei 105 °C 40 Stunden getrocknet. Die Bestimmung der Bluttrockensubstanz erfolgte in zwei Schritten. Die Blutproben wurden zunächst über Nacht bei 60 °C vorgetrocknet und dann bei 105 °C 4 Stunden fertig getrocknet. Daran schloss sich eine „Weender“-Analyse an.

b) 2. Versuchsperiode:

Die entbluteten Teilkörper wurden, zusammen mit dem Gastro-Intestinaltrakt, der Harn- und der Gallenblase (= entbluteter Leerkörper), im gefrorenen Zustand zerhackt und zweimal gecutert. Proben aus dem homogenisierten Material wurden gefriergetrocknet, zerkleinert und einer „Weender“-Analyse unterzogen, wie für die 1. Versuchsperiode beschrieben. Die Veraschung erfolgte bei 550 °C über eine Zeit von 16 Stunden. Mit den Blut-, Chymus- und Kot-Harn-Gemisch-Proben wurde ebenfalls identisch wie im Vorjahr verfahren.

Unter Berücksichtigung der Kühlverluste wurde aus den Wassergehalten der untersuchten Teile Schlachtkörper, Innereien, Bauchhöhlenfett, Blut und Chymus (1. Versuchsperiode) bzw. entbluteter Leerkörper, Blut und Chymus (2. Versuchsperiode) der Ganzkörperwassergehalt berechnet. Analog erfolgte die Berechnung der Leerkörperzusammensetzung aus den entsprechenden Gehalten der Einzelteile (Schlachtkörper, Innereien, Bauchhöhlenfett und Blut bei der 1. Versuchsperiode; entbluteter Leerkörper und Blut bei der 2. Versuchsperiode). Sie wurde auf der Basis der *fetthaltigen* und der *fettfreien* Leerkörpermasse vorgenommen,

um eine Grundlage für die Beurteilung der in der Literatur diskutierten Einflussfaktoren auf die Zusammensetzung der Leerkörpermasse zu erhalten.

3.3.2 Messung der D₂O-Konzentrationen; Berechnung des Ganzkörperwassergehaltes anhand der D₂O-Messergebnisse (in vivo)

Übersicht 8 enthält eine Zusammenstellung der verwendeten Verfahren bei der Messung der D₂O-Konzentrationen im Wasser der Blut-, Chymus- und Kot-Harn-Gemisch-Proben.

a) 1. Versuchsperiode:

Das Wasser von je einer 10 ml-Blutprobe pro Entnahmezeitpunkt und einer Probe des Kot-Harn-Gemisches wurde mit Hilfe einer Sublimationsanlage nach Tissier (1978, zitiert bei Susenbeth, 1984) gewonnen und in zwei Mini Vials pro Probe bis zur D₂O-Messung bei -20 °C tiefgefroren. Beim Gefriertrocknen der Proben aus der Fraktion Kopf, Fell und Füße wurde das anfallende Wasser aufgefangen, um dessen Gehalt an D₂O bestimmen zu können. Für die Entnahme von und Kot-Harn-Gemisch-Proben wurden diese Substanz zunächst mit einem handelsüblichen Küchen-Rührmixgerät homogenisiert, dann 10 Minuten zentrifugiert⁶ und der Überstand für die Sublimation abgehebert. Nach der Sublimation wurde dem Wasser der Kot-Harn-Gemisch-Proben 2N-Schwefelsäure (1 Teil Säure auf 4 Teile Probenwasser) zugesetzt, um die Ammonium-Ionen zu binden, die sich bei der Messung der D₂O-Konzentration störend auswirken. Im Anschluss daran erfolgte eine Wiederholung der Sublimation dieser Proben.

⁶ Zentrifuge Fa. Heraeus Christ, Typ VI.KS; 2500 U * min⁻¹

Übersicht 8: Verwendete Verfahren bei der Messung der D₂O-Konzentrationen im Wasser der Blut-, Chymus- und Kot-Harn-Gemisch-Proben

Verfahren	Blut	Chymus	Kot-Harn-Gemisch
Aufbereitung	entfällt		Homogenisierung, Zentrifugierung und Abhebern des Überstandes
Sublimation des Probenwassers	Anlage nach Tissier (1978); circa 1 Stunde		
Weitere Aufbereitung	entfällt		Zusatz von 1 Teil 2N-Schwefel-säure auf 4 Teile Probenwasser; Wiederholung der Sublimation
Messung der D ₂ O-Konzentration	1. Versuchsperiode: Infrarot-Spektralphotometer (Perkin Elmer, Process Photometer Spectran 677 IR); Wellenzahlbereich 2525 cm ⁻¹ gegen Wasser 2. Versuchsperiode: Infrarot-Spektralphotometer (Perkin Elmer, 16 PC FT-IR); Wellenzahlbereich von 2700 cm ⁻¹ bis 2400 cm ⁻¹ gegen Wasser		Infrarot-Spektralphotometer (Perkin Elmer, 16 PC FT-IR); Wellenzahlbereich von 2700 cm ⁻¹ bis 2400 cm ⁻¹ gegen Wasser

Die D₂O-Messung erfolgte an einem Infrarot-Spektralphotometer (Perkin Elmer, Process Photometer Spectran 677 IR; Wellenzahlbereich 2525 cm⁻¹) gegen Wasser. Von jeder Probe wurde eine Doppelmessung an zwei verschiedenen Tagen vorgenommen. Auf sechs Probenmessungen entfielen zwei Messungen eines Standards mit 915 ppm. Bei 49 Messungen ergab sich ein Mittelwert von 914,5 ppm für den Standard, mit einer Standardabweichung von 2,8 ppm (cv = 0,31 %).

Die Sublimation des Blutwassers und die Messung der D₂O-Konzentration der Blutproben aus der ersten Versuchsperiode geschahen im Institut für Tierernährung der Universität Hohenheim.

b) 2. Versuchsperiode:

In dieser Versuchsperiode erfolgte, im Unterschied zur 1. Versuchsperiode, eine zusätzliche Sublimation des Wassers der Blutproben für die Blindwertbestimmung und einer Probe aus dem Chymus. Anhand letzterer sollte die D₂O-Konzentration im Chymus mit der im Blutwasser verglichen werden, um festzustellen, ob ein Verteilungsgleichgewicht des Markers vorlag. Die Vorgehensweise bei der Homogenisierung und Zentrifugierung der Chymusproben war identisch mit der bei den Kot-Harn-Gemisch-Proben; letztere wurden wie in der ersten Versuchsperiode aufbereitet.

Die D₂O-Messung erfolgte an einem Infrarot-Spektralphotometer (Perkin Elmer, 16 PC FT-IR) in einem Wellenzahlbereich von 2700 cm⁻¹ bis 2400 cm⁻¹ gegen Wasser. Von jeder Probe wurde eine Doppelmessung an zwei verschiedenen Tagen vorgenommen. Auf je sechs Probenmessungen entfielen zwei Messungen eines Standards mit 892 ppm. Der Mittelwert von 72 Messungen ergab einen Wert von 892,6 ppm, bei einer Standardabweichung von 1,6 ppm (cv = 0,18 %).

Die Eichkurven für die verwendeten Standards sind in den Abbildungen A 9 und A 10 im Anhang, Abschnitt 9.6 dargestellt. Die Berechnung des Ganzkörperwassergehaltes erfolgte nach der Formel (Susenbeth, 1984, ergänzt):

$$y = [\text{Injizierte D}_2\text{O-Masse (g)} - \text{D}_2\text{O-Masse (g) im KHG}] * 100 /$$
$$[x * \text{Körpermasse (kg)} - \text{KHG-Masse (kg)}]$$

mit:

y = Ganzkörperwassergehalt (%)

x = D₂O-Konzentration im Blutwasser (g D₂O/1000 g H₂O)

Bei der Berechnung des Ganzkörperwassergehaltes wurden in der 2. Versuchsperiode die D₂O-Konzentrationen im Blutwasser um den jeweiligen Blindwert korrigiert.

3.4 Statistische Auswertung

Die statistische Analyse nahezu aller vorliegenden Daten erfolgte mit Hilfe des Auswertungsprogrammes „SPSS“ (Version 6.0.1, 1994). Für die Untersuchung des Einflusses der Nüchterungsdauer und der Lebendmasse auf die Chymusmasse bzw. die Ganzkörperwassermasse wurde dagegen wegen der besseren Eignung auf das „Mixed Model LSML“-Programm von „Harvey“ (Version PC 2, 1990) zurückgegriffen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit wurde durchgehend bei einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ überprüft.

Anhand des Pearson'schen Produkt-Moment-Korrelationskoeffizienten „r“ wurden die Korrelationen zwischen folgenden Variablen ermittelt:

- a) Fetthaltige und fettfreie Leerkörpermasse; analog für deren Zusammensetzung
- b) Chymusmasse und Chymuswassermasse
- c) Abweichung des geschätzten vom chemisch bestimmten Ganzkörperwassergehalt und den täglichen Zunahmen
- d) Abweichung des geschätzten vom chemisch bestimmten Ganzkörperwassergehalt und dem Leerkörperrohproteingehalt
- e) Abweichung der geschätzten von der chemisch bestimmten Ganzkörperwassermasse und den täglichen Zunahmen
- f) Abweichung der geschätzten von der chemisch bestimmten Ganzkörperwassermasse und der Leerkörperrohproteinmasse
- g) Lebendmasse und mittels D₂O geschätzter Ganzkörperwassergehalt
- h) Lebendmasse und mittels D₂O geschätzte Ganzkörperwassermasse
- i) Lebendmasse und chemisch bestimmte Ganzkörperwassermasse

Für die Prüfung der Signifikanz des Unterschiedes von Mittelwertdifferenzen wurde der t-Test gewählt. Übersicht 9 enthält die Fragestellungen, die mit Hilfe dieses Verfahrens bearbeitet wurden.

Übersicht 9: Gegenstand des t-Testes nach „SPSS“

Gegenstand: Unterschied von Mittelwertdifferenzen bei den Merkmalen...
Lebendmassen am Tag der D ₂ O-Injektion bzw. Schlachtung
D ₂ O-Konzentrationen im Blutwasser der Parallelproben nach der dritten bis fünften Injektion
Anhand D ₂ O geschätzter Ganzkörperwassergehalt mit bzw. ohne Blindwertkorrektur
D ₂ O-Konzentrationen im Blut- bzw. Chymuswasser
Anhand D ₂ O geschätzter Ganzkörperwassergehalt mit der gemessenen bzw. der theoretischen Markerverteilung
Anhand D ₂ O geschätzter Ganzkörperwassergehalt mit bzw. ohne Korrektur um D ₂ O-Verluste im Kot-Harn-Gemisch
Anhand D ₂ O geschätzte Ganzkörperwassermasse mit bzw. ohne Korrektur um D ₂ O-Verluste im Kot-Harn-Gemisch
Anhand D ₂ O geschätzter bzw. chemisch bestimmter Ganzkörperwassergehalt
Anhand D ₂ O geschätzte bzw. chemisch bestimmte Ganzkörperwassermasse

Übersicht 10 enthält die Fragestellungen, die mit Hilfe der Varianzanalyse beantwortet wurden. Sofern keine Varianzhomogenität vorlag, wurden nichtparametrische Tests für die Überprüfung der Signifikanz verwendet, wie in Übersicht 11 dargestellt.

Übersicht 10: Gegenstand der Varianzanalyse und varianzanalytische Modelle

Gegenstand	Modell und Auswertungsprogramm	Faktoren/Effekte
Effekt der Leerkörpermasse und der mittleren täglichen Zunahmen auf die (fetthaltige bzw. fettfreie) Leerkörperzusammensetzung	$Y_{ijk} = \mu + LKM_i + Tz_j + \varepsilon_{ijk}$ („SPSS“)	Y_{ijk} = beobachteter Wert des Leerkörperbestandteils (%) μ = Gesamtmittelwert LKM_i = Leerkörpermasse (kg) Tz_j = mittl. Tägliche Zunahmen (g) ε_{ijk} = Restfehler
Effekt der Lebendmassen und Nüchterungsdauer auf die Chymusmassen	$Y_{ijk} = \mu + ND_i + LM_j + \varepsilon_{ijk}$ („LSML“ nach Harvey)	Y_{ijk} = beobachteter Wert der Chymusmasse (kg) μ = Gesamtmittelwert ND_i = Nüchterungsdauer (h) LM_j = Lebendmasse (kg) ε_{ijk} = Restfehler

Übersicht 11: Gegenstand der statistischen Analyse mittels nichtparametrischer Tests nach „SPSS“

Gegenstand: Vergleich der Merkmale...	Testverfahren
Chymuswassergehalt zwischen den Versuchsperioden	Mann-Whitney U
D ₂ O-Konzentrationen im Blut- bzw. Kot-Harn-Gemisch-Wasser	Wilcoxon
Leerkörperzusammensetzung zwischen den Tiergruppen	Wilcoxon

Zur Schätzung der Beziehung verschiedener Variablen in Abhängigkeit von der Lebendmasse, der Leerkörpermasse und weiterer Variablen wurden Regressionsgleichungen aufgestellt. Ausschlaggebend für die Wahl des Modells waren sowohl das Bestimmtheitsmaß R^2 als auch der Variationskoeffizient der Residuen (RCV) sowie die Darstellung der Variablen mit Hilfe eines Streudiagrammes. Übersicht 12 enthält Angaben zum Gegenstand der regressionsanalytischen Betrachtung und den ausgewählten Modellen.

Übersicht 12: Angewandte Modelle bei der Regressionsanalyse nach "SPSS"

Gegenstand	Modell	Faktoren
Leerkörperzusammensetzung in Abhängigkeit von der Leerkörpermasse (fetthaltig bzw. fettfrei)	$y = a * x + b$	y = Bestandteil (%) des Leerkörpers x = Leerkörpermasse (kg) a = Konstante b = Regressionskoeffizient
Chymusmasse bzw. -wassermasse in Abhängigkeit von der Lebendmasse	$y = a + b * x + c * x^2$	y = Chymusmasse/ Chymuswassermasse (kg) x = Lebendmasse (kg) a = Konstante b, c = Regressionskoeffizient
Chemisch bestimmter Ganzkörperwassergehalt in Abhängigkeit vom mittels D ₂ O geschätzten Ganzkörperwassergehalt	$y = a + b * x$	y = Ganzkörperwassergehalt (chemische Analyse; %) x = Ganzkörperwassergehalt (D ₂ O; %) a = Konstante b = Regressionskoeffizient
Chemisch bestimmte Ganzkörperwassermasse in Abhängigkeit von der mittels D ₂ O geschätzten Ganzkörperwassermasse	$y = a + b * x$	y = Ganzkörperwassermasse (chemische Analyse; kg) x = Ganzkörperwassermasse (D ₂ O; kg) a = Konstante b = Regressionskoeffizienten
Leerkörperzusammensetzung in Abhängigkeit vom mittels D ₂ O geschätzten Ganzkörperwassergehalt	$y = a + b * x$	y = Bestandteil (%) des Leerkörpers (%) x = Ganzkörperwassergehalt (D ₂ O; %) a = Konstante b = Regressionskoeffizient

Übersicht 12: Angewandte Modelle bei der Regressionsanalyse nach "SPSS" (Fortsetzung)

Gegenstand	Modell	Faktoren
Leerkörperzusammensetzung in Abhängigkeit vom mittels D ₂ O geschätzten Ganzkörperwassergehalt und der Lebendmasse	$y = a + b_1 * x_1 + b_2 * x_2$	y = Bestandteil des Leerkörpers (%) x_1 = Lebendmasse (kg) x_2 = Ganzkörperwassergehalt (D ₂ O; %) a = Konstante b_1, b_2 = Regressionskoeffizienten
Leerkörperzusammensetzung in Abhängigkeit von der mittels D ₂ O geschätzten Ganzkörperwassermasse und der Lebendmasse	$y = a + b_1 * x_1 + b_2 * x_2$	y = Bestandteil des Leerkörpers (kg) x_1 = Lebendmasse (kg) x_2 = Ganzkörperwassermasse (D ₂ O; kg) a = Konstante b_1, b_2 = Regressionskoeffizienten

3.5 Vergleichende ökonomische Bewertung der Verdünnungsmethode und der chemischen Analyse

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit soll aufgezeigt werden, wie sich die Kosten bei der Anwendung der beiden Untersuchungsmethoden (Verdünnungsmethode, chemische Analyse) zusammensetzen und wodurch Unterschiede begründet sind.

Die Kosten der Arbeitserledigung wurden anhand von mittleren Löhnen nach dem Bundesangestelltentarif (BAT), dem Bundesmanteltarif für gewerblich Tätige (BMTG), dem Besoldungsrecht und anhand der benötigten Zeit für die Tätigkeiten ermittelt. Bei der Berechnung der Gerätekosten wurden neben den variablen Kosten auch die Fixkosten inklusive eines Zinsansatzes berücksichtigt und eine durchschnittliche Auslastung zugrunde gelegt.

4 Ergebnisse

Im folgenden Kapitel werden die Untersuchungsergebnisse für beide Versuchsperioden parallel dargestellt, gegliedert nach Wachstumsabschnitten bzw. Tiergruppen. Hierbei bezeichnet der Begriff „Wachstumsabschnitt“ einen *Zeitraum*, in der alle zu dieser Zeit lebenden Tiere zu untersuchen waren. Dagegen steht der Begriff „Tiergruppe“ für den *Zeitpunkt*, zu dem die Vergleichsschlachtung an einem Teil der Tiere erfolgte, da die Ergebnisse der chemischen Analyse (zwangsläufig) die Körperzusammensetzung nur zu einem einzigen Zeitpunkt widerspiegeln können.

4.1 Energieaufnahme

Die Daten zur täglichen Energieaufnahme ($\text{MJ ME/kg LM}^{0,75}$) sind in Tabelle 1 und Tabelle 2 dargestellt. Weitere Informationen enthalten die Abschnitte 9.2 und 9.3 im Anhang.

Tabelle 1: Tägliche Energieaufnahme

Wachstumsabschnitt	1. Versuchsperiode		2. Versuchsperiode	
(Lebendmasse, kg)	Tierzahl	$\text{MJ ME /kg LM}^{0,75}$	Tierzahl	$\text{MJ ME /kg LM}^{0,75}$
		$\bar{x} \pm s$		$\bar{x} \pm s$
1 (Geburt-5,0)	23	$0,82 \pm 0,25$	30	$1,10 \pm 0,28$
2 (5,1-9,0)	18	$0,75 \pm 0,08$	24	$0,85 \pm 0,14$
3 (9,1-13,0)	15	$0,83 \pm 0,20$	18	$0,68 \pm 0,20$
4 (13,1-17,0)	10	$0,88 \pm 0,22$	12	$0,95 \pm 0,18$
5 (17,1-21,0)	5	$0,95 \pm 0,20$	6	$1,05 \pm 0,11$

Tabelle 2: Tägliche Energieaufnahme als Vielfaches des Erhaltungsbedarfs

Wachstumsabschnitt	1. Versuchsperiode		2. Versuchsperiode	
(Lebendmasse, kg)	Tierzahl	Vielfaches des Erhaltungsbedarfs ($0,45 \text{ MJ ME/kg LM}^{0,75}$)	Tierzahl	Vielfaches des Erhaltungsbedarfs ($0,45 \text{ MJ ME/kg LM}^{0,75}$)
		$\bar{x} \pm s$		$\bar{x} \pm s$
1 (Geburt – 5,0)	23	$1,82 \pm 0,56$	30	$2,45 \pm 0,63$
2 (5,1 – 9,0)	18	$1,66 \pm 0,18$	24	$1,89 \pm 0,31$
3 (9,1 – 13,0)	15	$1,85 \pm 0,44$	18	$1,52 \pm 0,44$
4 (13,1 – 17,0)	10	$1,95 \pm 0,49$	12	$2,10 \pm 0,41$
5 (17,1 – 21,0)	5	$2,11 \pm 0,44$	6	$2,33 \pm 0,24$

Die tägliche Aufnahme an umsetzbarer Energie schwankte in der ersten Versuchsperiode zwischen 0,75 und 0,95 MJ ME/kg pro kg LM^{0,75}. Nach einem Rückgang der Energieaufnahme im zweiten Wachstumsabschnitt stieg sie kontinuierlich bis zum fünften Wachstumsabschnitt an. Diese Tendenz ist auch in der zweiten Versuchsperiode zu beobachten. Allerdings variierte hier die tägliche Energieaufnahme zwischen 0,68 und 1,1 MJ ME/ kg pro kg LM^{0,75}. Der Rückgang im zweiten Wachstumsabschnitt fiel deutlich stärker aus und setzte sich bis zum dritten Wachstumsabschnitt fort. Dagegen wurde eine höhere tägliche Aufnahme an umsetzbarer Energie pro kg LM^{0,75} während der letzten beiden Abschnitte der zweiten Versuchsperiode im Vergleich zur ersten Versuchsperiode festgestellt. Zu erklären ist dies durch eine jeweils höhere Kraftfutteraufnahme im zweiten und dritten Wachstumsabschnitt der ersten Versuchsperiode bzw. in den letzten beiden Abschnitten der zweiten Versuchsperiode.

Die mittlere Energieaufnahme in den Wachstumsabschnitten variierte zwischen dem 1,5fachen bis rund 2,5fachen Erhaltungsbedarf, wobei die Spannweite in der zweiten Versuchsperiode höher ausfiel als in der ersten.

4.2 Entwicklung der Lebendmasse

Die folgenden Tabellen 3 und 4 geben Auskunft über das Alter, die Lebendmassen und die täglichen Zunahmen während der fünf Wachstumsabschnitte in den beiden Versuchsperioden.

Tabelle 3: Alter, Lebendmassen und tägliche Zunahmen (1. Versuchsperiode)

Wachstumsabschnitt (Lebendmasse, kg)	Tierzahl	Alter (Tage)	Lebendmasse (kg)	tägliche Zunahme (g/Tag)
		$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$
1 (Geburt – 5,0)	23	9 ± 6	3,7 ± 0,8	101 ± 33
2 (5,1 – 9,0)	18	29 ± 10	6,6 ± 1,2	137 ± 17
3 (9,1 – 13,0)	15	55 ± 12	10,7 ± 1,3	173 ± 33
4 (13,1 – 17,0)	10	78 ± 12	14,7 ± 1,5	162 ± 31
5 (17,1 – 21,0)	5	94 ± 8	19,2 ± 1,5	201 ± 24

Tabelle 4: Alter, Lebendmassen und tägliche Zunahmen (2. Versuchsperiode)

Wachstumsabschnitt (Lebendmasse, kg)	Tierzahl	Alter (Tage)	Lebendmasse (kg)	tägliche Zunahme (g/Tag)
		$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$
1 (Geburt – 5,0)	30	9 ± 6	$3,8 \pm 0,8$	131 ± 29
2 (5,1 – 9,0)	24	27 ± 9	$6,7 \pm 1,1$	127 ± 17
3 (9,1 – 13,0)	18	56 ± 11	$10,4 \pm 1,3$	135 ± 17
4 (13,1 – 17,0)	12	78 ± 10	$14,6 \pm 1,4$	196 ± 45
5 (17,1 – 21,0)	6	93 ± 11	$18,8 \pm 1,3$	183 ± 47

Die täglichen Zunahmen stieg während der ersten Versuchsperiode kontinuierlich bis zum Absetzen im Gewichtsbereich von rund 12 kg LM. Danach sanken sie leicht, um anschließend wieder deutlich zu steigen. Etwas anders stellt sich der Verlauf der täglichen Zunahmen in der zweiten Versuchsperiode dar. Hier war die Zunahme relativ konstant bis zum Absetzen; danach lagen sie auf einem höheren Niveau.

Die Wachstumskurven für beide Versuchsperioden stimmen weitestgehend überein (Abb. 1). Die Entwicklung der Lebendmasse verlief in den untersuchten Wachstumsabschnitten linear.

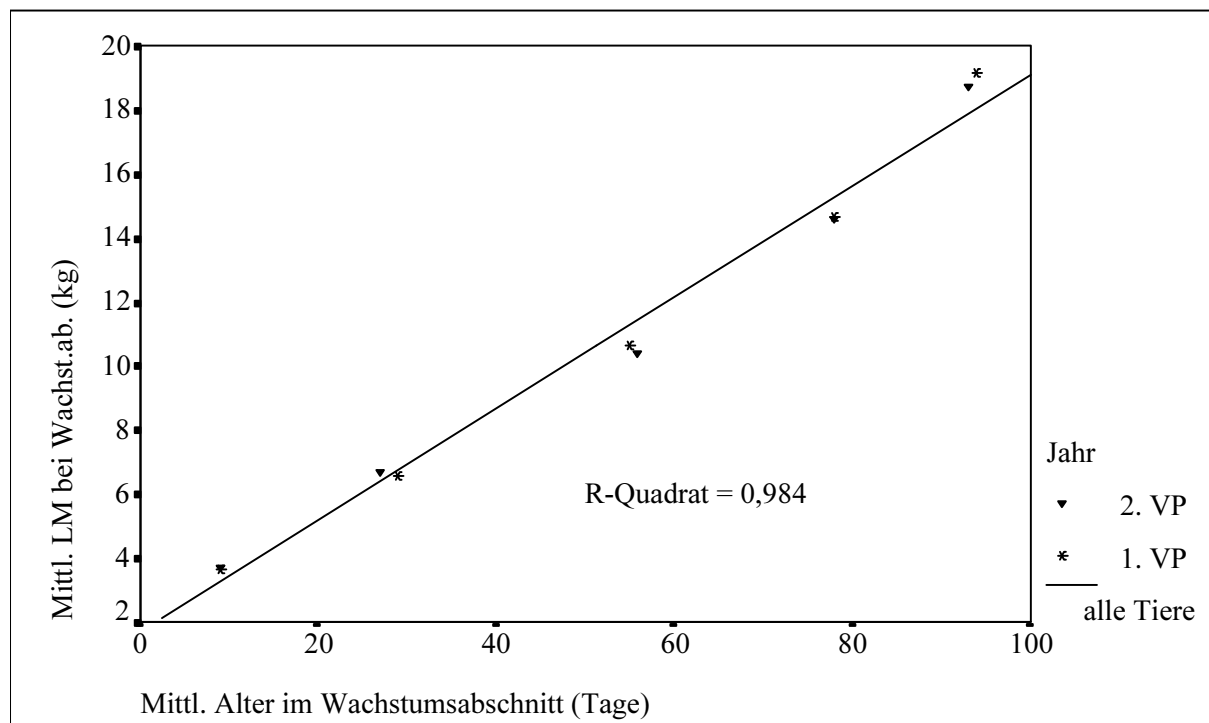
**Abbildung 1:** Lebendmasseentwicklung in Abhängigkeit vom Alter (1. und 2. Versuchsperiode)

Tabelle 5 enthält die gemittelten Werte der Lebendmassen am Tag der D₂O-Injektion und am Tag der Schlachtung. Daraus ist zu ersehen, dass die Werte zum Zeitpunkt der Injektion um durchschnittlich 1,55 % höher lagen als bei der Schlachtung am folgenden Tag. Der Unterschied war statistisch signifikant (Anhang 9.5, Tabelle A 1).

Tabelle 5: Lebendmassen am Tag der D₂O-Injektion und am Tag der Schlachtung; relative Übereinstimmung (n = 23; 1.Versuchsperiode)

Lebendmasse bei Injektion (kg)	Lebendmasse bei Schlachtung (kg)	relative Übereinstimmung ^a (%)
$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$
12,82 ± 5,96	12,51 ± 5,59	101,55 ± 3,20

a: Lebendmasse bei Schlachtung = 100 %

4.3 Chemisch bestimmter Ganzkörperwassergehalt

In diesem und im nächsten Abschnitt (4.4) erfolgt die Darstellung der Ergebnisse zur Untersuchung der verschiedenen Merkmale, die für die Berechnung des chemisch bestimmten bzw. mittels der Verdünnungsmethode geschätzten Ganzkörperwassergehaltes von Bedeutung sind. In einem weiteren Schritt wird die Übereinstimmung der so ermittelten Ganzkörperwassergehalte geprüft. Grafik 1 veranschaulicht den Zusammenhang zwischen den untersuchten Merkmalen.

4.3.1 Massen und Wassergehalt von Kopf, Fell und Füßen

Die folgende Tabelle 6 enthält Angaben zu den Massen der vom Tierkörper während des Schlachtvorganges abgetrennten Fraktion Kopf, Fell und Füße sowie deren Anteil an der Lebendmasse in der ersten Versuchsperiode. Dieser nahm von der ersten bis zur fünften Tiergruppe kontinuierlich ab. Die Fraktion wies einen mittleren Wassergehalt von 57,37 % (s = 2,38, n = 6) auf. Um die Bedeutung dieses Wertes für die Bestimmung des Ganzkörperwassergehaltes per chemischer Analyse zu ermitteln, wurde anhand des mittleren Wassergehaltes von 57,37 % die Wassermasse der Fraktion jedes einzelnen Tieres der ersten Versuchsperiode berechnet und mit der Summe aus dieser Wassermasse und der Wassermasse im Leerkörper und der Wassermasse im Chymus ein Näherungswert für den chemisch ermittelten Ganzkörperwassergehalt bestimmt.

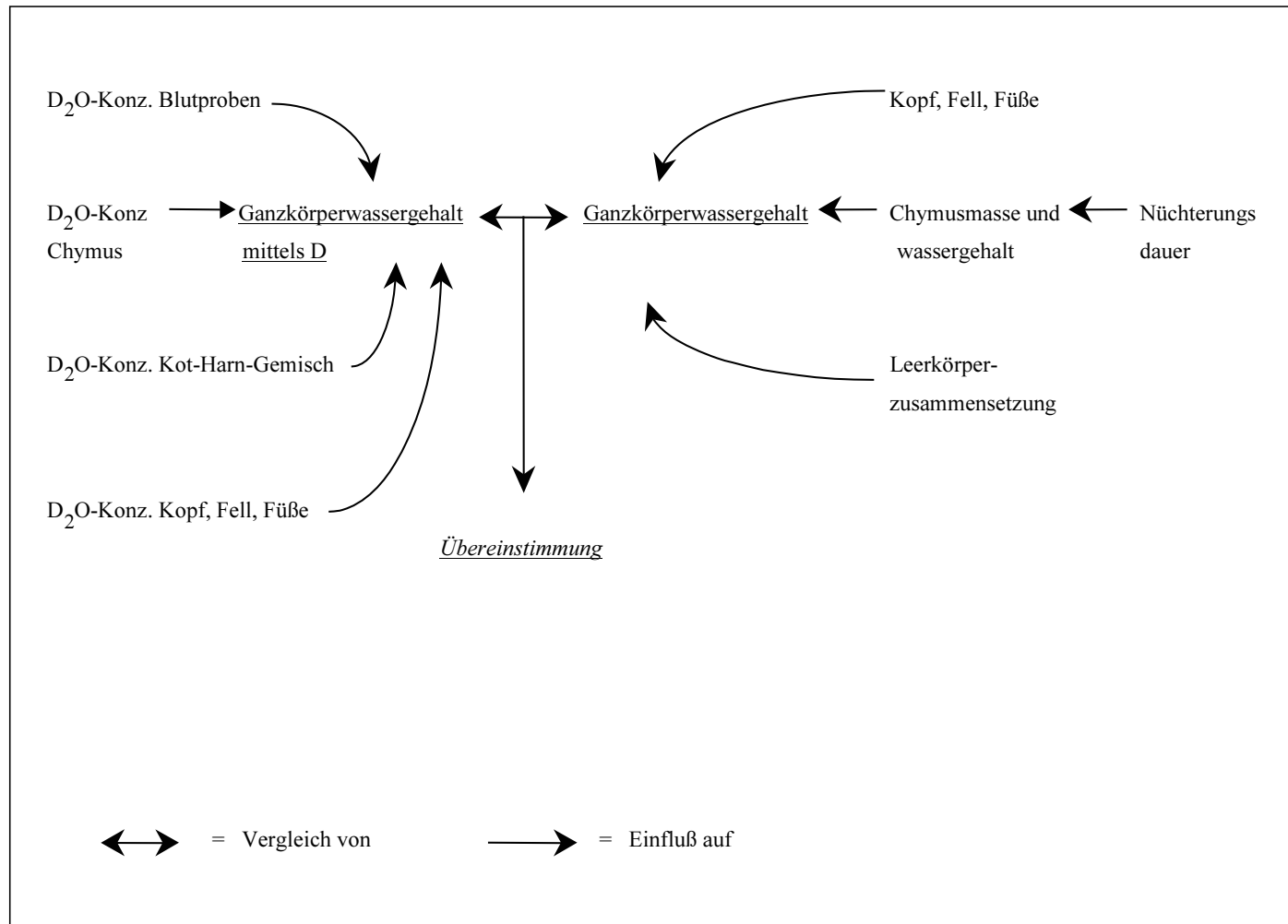
Grafik 1: Zusammenhang zwischen den untersuchten Merkmalen

Tabelle 6: Massen der Fraktion Kopf, Fell und Füße (n = 23; 1. Versuchsperiode)

Tiergruppe	Massen von Kopf, Fell und Füßen (kg)	Anteil an der Lebendmasse (%)
	$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$
1 (5 Tiere)	1,09 ± 0,06	22,72 ± 1,16
2 (3 Tiere)	1,56 ± 0,10	19,24 ± 1,01
3 (5 Tiere)	2,06 ± 0,03	16,73 ± 0,45
4 (5 Tiere)	2,58 ± 0,13	16,45 ± 0,52
5 (5 Tiere)	3,20 ± 0,17	15,89 ± 0,74
23 Tiere	2,15 ± 0,78	18,12 ± 2,78

Tabelle 7 stellt die Werte für die jeweils mit bzw. ohne Berücksichtigung der Fraktion Kopf, Fell, Füße errechneten Ganzkörperwassergehalte und die entsprechende relative Übereinstimmung dar, um den Einfluss dieser Fraktion auf die Ganzkörperwassergehalt aufzuzeigen.

Tabelle 7: Anhand chemischer Analyse bestimmte Ganzkörperwassergehalte mit bzw. ohne Kopf, Fell, Füße; relative Übereinstimmung (n = 23; 1. Versuchsperiode)

Tiergruppe	Ganzkörperwassergehalt (chemische Analyse, %)		relative Übereinstimmung ^a
	ohne Kopf etc.	mit Kopf etc.	(%)
	$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$
1 (5 Tiere)	74,68 ± 0,69	70,75 ± 0,49	105,55 ± 0,40
2 (3 Tiere)	74,21 ± 0,87	70,97 ± 0,73	104,56 ± 0,31
3 (5 Tiere)	74,32 ± 1,61	71,49 ± 1,35	103,96 ± 0,31
4 (5 Tiere)	71,64 ± 2,66	69,31 ± 2,29	103,36 ± 0,43
5 (5 Tiere)	72,19 ± 1,74	69,84 ± 1,45	103,37 ± 0,37
23 Tiere	73,34 ± 2,04	70,43 ± 1,56	104,12 ± 0,94

a: Ganzkörperwassergehalt mit Kopf, Fell und Füßen = 100 %

Anhand der Daten in Tabelle 7 ist zu erkennen, dass bei einem Ausschluss der Fraktion Kopf, Fell und Füße der mittels chemischer Analyse errechnete Ganzkörperwassergehalt um im Mittel 4,12 % über dem entsprechenden Wert bei der Analyse vollständiger Tiere liegt. Allerdings ist zu beachten, dass hier mit Hilfe eines einzigen Mittelwertes der Wassergehalt von Kopf, Fell und Füßen jedes einzelnen Tieres „geschätzt“ wurde und es sich daher bei den Differenzen lediglich um Näherungswerte handeln kann.

4.3.2 Zusammensetzung der Leerkörpermasse

In diesem Abschnitt erfolgt zunächst die Darstellung der Analysenergebnisse zur *fetthaltigen*, anschließend zur *fettfreien* Leerkörpermasse. Diese Vorgehensweise dient dazu, die Eignung der hierbei aufgestellten Regressionsgleichungen für die Schätzung der Leerkörperzusammensetzung zu untersuchen.

Tabelle 8 enthält Angaben zu der Zusammensetzung der *fetthaltigen* Leerkörpermasse, aufgeteilt nach den Versuchsperioden. Die Zusammensetzung der Leerkörper in den jeweiligen Tiergruppen ist in Tabelle 8a bzw. Tabelle 8b im Anhang (Abschnitt 9.3) angeführt.

Tabelle 8: Zusammensetzung des fetthaltigen Leerkörpers von Ziegenlämmern im Gewichtabschnitt von 4 kg bis 20 kg LM (1. und 2. Versuchsperiode)

Bestandteil	1. Versuchsperiode ^a (n = 23)	2. Versuchsperiode (n = 30)
	$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$
Wasser	70,22 ± 3,18	68,78 ± 2,38
Rohprotein	17,28 ± 0,74	18,67 ± 0,62
Rohfett	8,63 ± 2,88	8,39 ± 2,13
Rohasche	3,78 ± 0,25	4,14 ± 0,24

a: Angaben ohne Werte für Kopf, Fell und Füße, da aus technischen Gründen eine chemische Analyse nicht möglich war

Der Rohfettgehalt der Leerkörper unterliegt in beiden Versuchsperioden der stärksten Schwankung. Wie anhand der Residual-Standardabweichung bei den folgenden Regressionsgleichungen⁷ zu erkennen, ist hier die Restvarianz im Vergleich zu den übrigen Bestandteilen auch nach Ausschalten des Leerkörpermassen-Effektes am höchsten.

⁷ Regressionsanalytisches Modell siehe Abschnitt 3.4

- 1. Versuchsperiode

Parameter	Koeffizienten	Statistische Maße
Leerkörperwassergehalt (%)	$80,693 * \text{LKM}^{-0,0695}$	$R^2 = 0,619$; RSD = 2,01; RCV = 2,91 %
Leerkörperrohproteingehalt (%)	$15,140 * \text{LKM}^{0,0657}$	$R^2 = 0,603$; RSD = 0,48; RCV = 2,71 %
Leerkörperroh fettgehalt (%)	$3,171 * \text{LKM}^{0,4842}$	$R^2 = 0,475$; RSD = 2,17; RCV = 23,03 %
Leerkörperrohaschegehalt (%)	$3,22 * \text{LKM}^{0,0786}$	$R^2 = 0,376$; RSD = 0,20; RCV = 5,17 %

LKM = Leerkörpermasse (kg)

- 2. Versuchsperiode

Parameter	Koeffizienten	Statistische Maße
Leerkörperwassergehalt (%)	$76,991 * \text{LKM}^{-0,0510}$	$R^2 = 0,558$; RSD = 1,61; RCV = 2,37 %
Leerkörperrohproteingehalt (%)	$16,769 * \text{LKM}^{0,0484}$	$R^2 = 0,540$; RSD = 0,43; RCV = 2,27 %
Leerkörperroh fettgehalt (%)	$4,342 * \text{LKM}^{0,2921}$	$R^2 = 0,307$; RSD = 1,81; RCV = 20,27 %
Leerkörperrohaschegehalt (%)	$3,436 * \text{LKM}^{0,0840}$	$R^2 = 0,550$; RSD = 0,16; RCV = 3,82 %

LKM = Leerkörpermasse (kg)

Die Leerkörperzusammensetzung wird anhand der Abbildungen A 1 bis A 8 im Anhang (Abschnitt 9.4) veranschaulicht.

Aus Tabelle 9 sind die Werte zur Zusammensetzung der *fettfreien* Leerkörpermasse zu entnehmen, aufgeteilt nach Versuchsperioden.

Tabelle 9: Zusammensetzung des fettfreien Leerkörpers von Ziegenlämmern im Gewichtsabschnitt von 4 kg bis 20 kg LM (1. und 2. Versuchsperiode)

Bestandteil	1. Versuchsperiode ^a (n = 23)	2. Versuchsperiode (n = 30)
	$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$
Wasser	76,82 ± 1,28	75,06 ± 1,13
Rohprotein	18,94 ± 1,14	20,39 ± 0,87
Rohasche	4,14 ± 0,32	4,53 ± 0,32

a: Angaben ohne Werte für Kopf, Fell und Füße, da aus technischen Gründen eine chemische Analyse nicht möglich war

Der Wassergehalt der fettfreien Leerkörper weist in beiden Versuchsperioden eine deutlich niedrigere Standardabweichung als jener der fetthaltigen Leerkörper auf. Geringfügig verändert sind auch die Standardabweichungen beim Rohprotein- und beim Rohaschegehalt.

Die folgenden Abb. 2 bis Abb. 4 veranschaulichen für die zweite Versuchsperiode die Beziehung zwischen der Zusammensetzung der fettfreien Leerkörpermasse und der fettfreien Leerkörpermasse. Danach verändert sich die Zusammensetzung der fettfreien Leerkörpermasse im Laufe des Wachstums im untersuchten Gewichtsabschnitt von 4 bis 20 kg LM. Hierbei ist zu beobachten, dass der Rohaschegehalt nur wenig von der Leerkörpermasse abhängt. Dagegen findet sowohl beim Wasser- als auch beim Rohproteingehalt eine wesentliche Veränderung beim Übergang von der ersten zur zweiten Tiergruppe auf; diese fällt bei den übrigen Gruppen geringer aus.

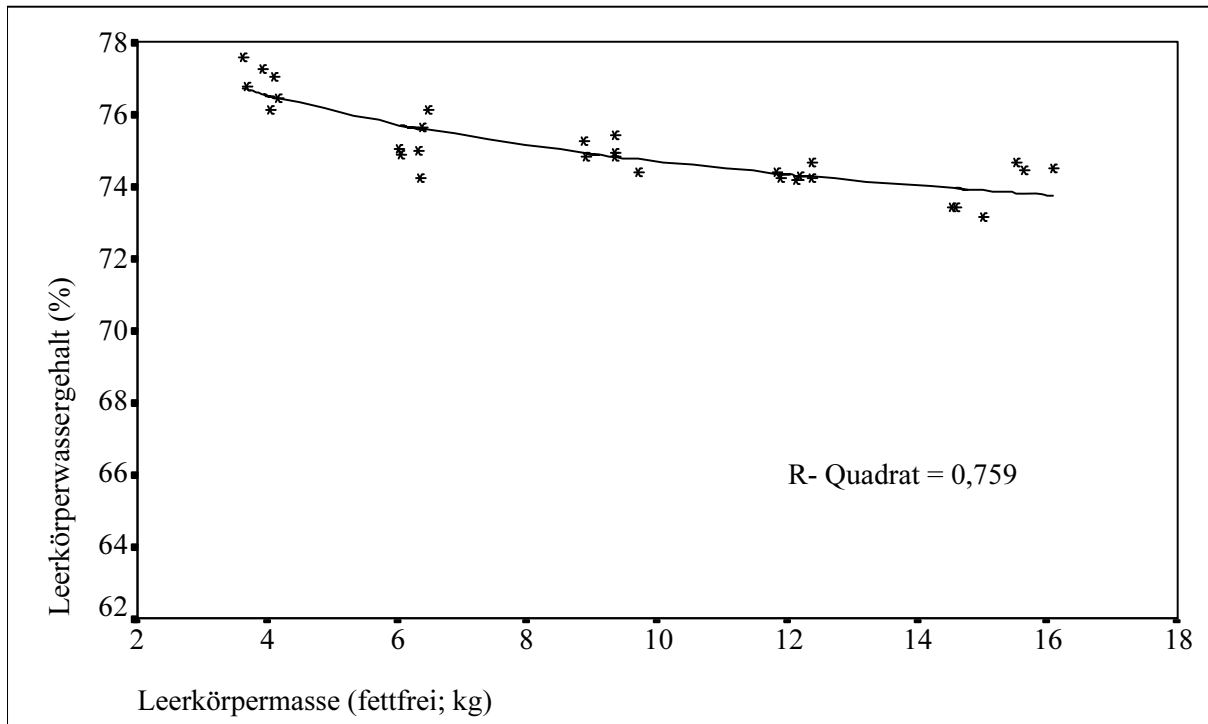


Abbildung 2: Wassergehalt der fettfreien Leerkörpermasse in Abhängigkeit von der fettfreien Leerkörpermasse (n = 30; 2. Versuchsperiode)

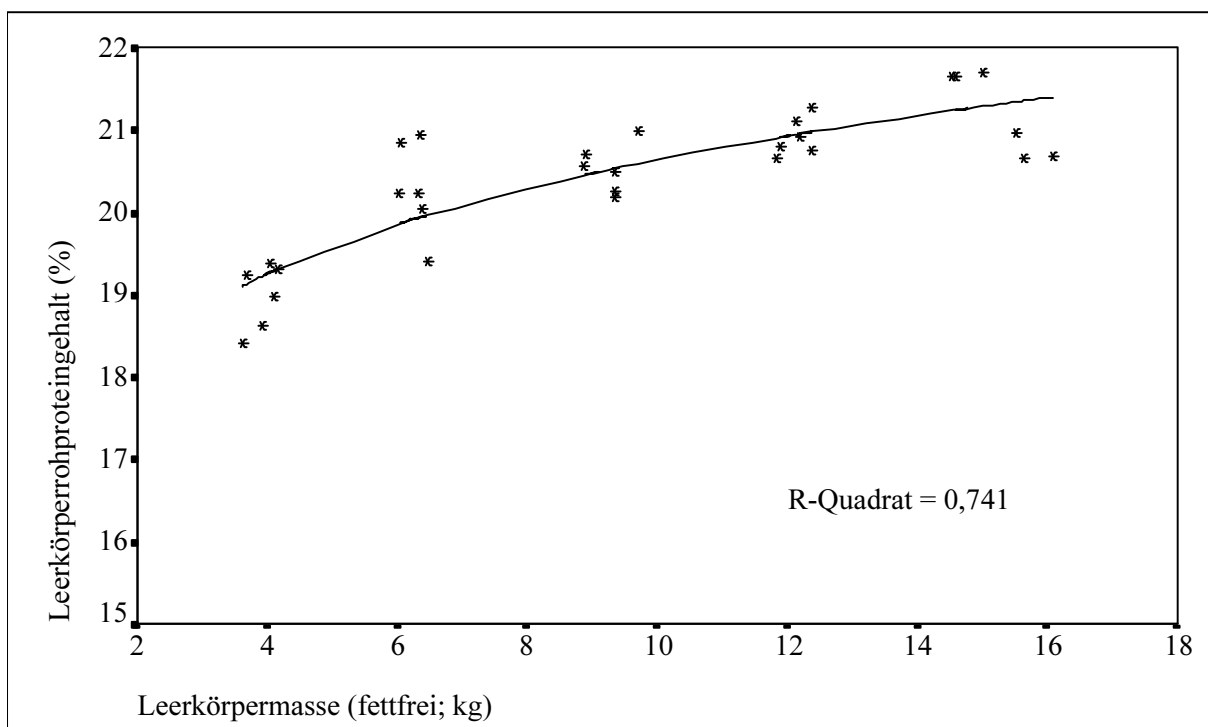


Abbildung 3: Rohproteingehalt der fettfreien Leerkörpermasse in Abhängigkeit von der fettfreien Leerkörpermasse (n = 30; 2. Versuchsperiode)

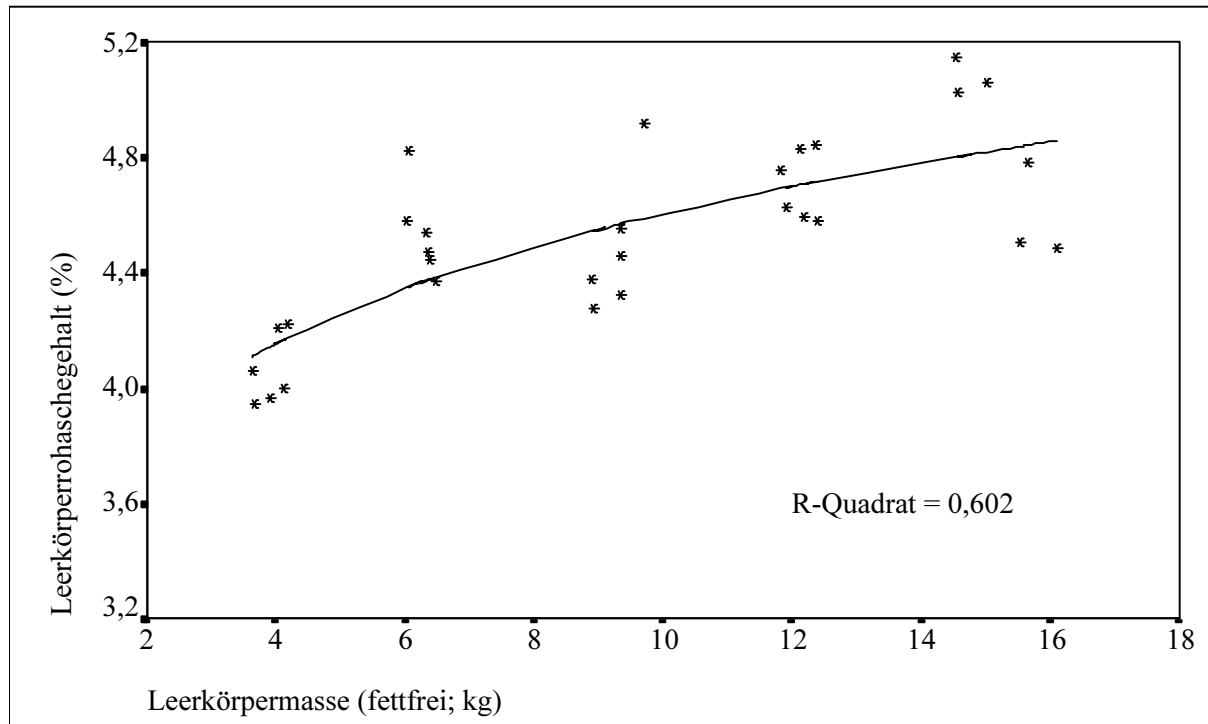


Abbildung 4: Rohaschegehalt der fettfreien Leerkörpermasse in Abhängigkeit von der fettfreien Leerkörpermasse (n = 30; 2. Versuchsperiode)

Die Zusammensetzung der *fettfreien* Leerkörpermasse in Abhängigkeit von der Leerkörpermasse lässt sich mit den folgenden Gleichungssystemen⁸ beschreiben:

- 1. Versuchsperiode**

Parameter	Koeffizienten	Statistische Maße
Leerkörperwassergehalt (%)	$81,377 * \text{LKM}^{-0,029}$	$R^2 = 0,771$; RSD = 0,63; RCV = 0,82 %
Leerkörperrohproteingehalt (%)	$15,231 * \text{LKM}^{0,108}$	$R^2 = 0,801$; RSD = 0,52; RCV = 2,69 %
Leerkörperrohaschegehalt (%)	$3,247 * \text{LKM}^{0,120}$	$R^2 = 0,599$; RSD = 0,21; RCV = 4,94 %
LKM = Leerkörpermasse (kg)		

⁸ Regressionsanalytisches Modell siehe Abschnitt 3.4

- **2. Versuchsperiode**

Parameter	Koeffizienten	Statistische Maße
Leerkörperwassergehalt (%)	$79,550 * \text{LKM}^{-0,026}$	$R^2 = 0,775$; RSD = 0,55; RCV = 0,73 %
Leerkörperrohproteingehalt (%)	$17,301 * \text{LKM}^{0,074}$	$R^2 = 0,752$; RSD = 0,44; RCV = 2,14 %
Leerkörperrohaschegehalt (%)	$3,539 * \text{LKM}^{0,111}$	$R^2 = 0,607$; RSD = 0,21; RCV = 4,43 %

LKM = Leerkörpermasse (kg)

Der Vergleich zwischen den Regressionsgleichungen für die Schätzung der Zusammensetzung der *fetthaltigen* bzw. *fettfreien* Leerkörpermasse zeigt, dass eine engere Beziehung zwischen der Leerkörpermasse und der *fettfreien* als der *fetthaltigen* Zusammensetzung besteht. Dies trifft für beide Versuchsperioden zu.

Tabelle 10 enthält die Korrelationskoeffizienten⁹ für die Beziehung zwischen der fetthaltigen und der fettfreien Leerkörpermasse sowie entsprechend für die Bestandteile Wasser, Rohprotein und Rohasche, die anhand der Daten der zweiten Versuchsperiode ermittelt wurden.

Tabelle 10: Korrelationskoeffizienten für die Beziehung zwischen der fetthaltigen und der fettfreien Leerkörpermasse bzw. den entsprechenden Bestandteilen (n = 30; 2. Versuchsperiode)

Variable	r	P
Leerkörpermasse (kg)	0,998	< 0,001 *
Wasser (%)	0,857	< 0,001 *
Rohprotein (%)	0,833	< 0,001 *
Rohasche (%)	0,951	< 0,001 *

= signifikant ($\alpha = 0,05$)

⁹ Korrelationskoeffizienten siehe Abschnitt 3.4

Die fetthaltige Leerkörpermasse ist erwartungsgemäß eng ($r = 0,998$) mit der fettfreien Leerkörpermasse korreliert; das gilt auch für die entsprechenden Bestandteile. Dieses Ergebnis ist von Bedeutung bei der Diskussion verschiedener Faktoren auf die Zusammensetzung der Leerkörpermasse.

In einem weiteren Auswertungsschritt wurde anhand der Daten der zweiten Versuchsperiode der Effekt der Leerkörpermasse und der mittleren täglichen Zunahmen auf die Leerkörperzusammensetzung varianzanalytisch¹⁰ untersucht (Anhang 9.5, Tabelle A 2). Die Ergebnisse zeigen, dass die Höhe der mittleren täglichen Zunahmen keinen Effekt auf die fetthaltige bzw. fettfreie Leerkörperzusammensetzung hatte.

Die vorliegenden Daten erlauben es wegen der geringen Gruppengröße nicht, den Einfluss des Geschlechtes auf die Leerkörperzusammensetzung zu untersuchen. Desgleichen ist es nicht möglich, eine Abhängigkeit der Zusammensetzung des fettfreien Leerkörpers vom Fettgehalt festzustellen, da mit zunehmender Lebendmasse der Fettgehalt steigt und somit die Unabhängigkeit der Zusammensetzung der fettfreien Leerkörpermasse vom Fettgehalt mit diesem Datenmaterial nicht geprüft werden kann.

4.3.3 Chymusmasse und Wassermasse im Chymus

Bei der Schlachtung der Tierkörper wurden folgende Chymusmassen und Wassermassen im Chymus ermittelt (Tabelle 11 und Tabelle 12):

Tabelle 11: Chymusmassen (1. und 2. Versuchsperiode)

Tiergruppe	1. Versuchsperiode		2. Versuchsperiode	
	Tierzahl	kg; $\bar{x} \pm s$	Tierzahl	kg; $\bar{x} \pm s$
1	5	$0,37 \pm 0,04$	6	$0,42 \pm 0,09$
2	3	$0,90 \pm 0,14$	6	$1,39 \pm 0,12$
3	5	$2,29 \pm 0,40$	6	$2,24 \pm 0,35$
4	5	$2,76 \pm 0,25$	6	$2,86 \pm 0,24$
5	5	$3,75 \pm 0,40$	6	$3,36 \pm 0,53$

¹⁰ Varianzanalytisches Modell siehe Abschnitt 3.4

Tabelle 12: Chymuswassermassen (1. und 2. Versuchsperiode)

Tiergruppe	1. Versuchsperiode		2. Versuchsperiode	
	Tierzahl	kg; $\bar{x} \pm s$	Tierzahl	kg; $\bar{x} \pm s$
1	5	0,30 \pm 0,03	6	0,37 \pm 0,08
2	3	0,79 \pm 0,12	6	1,21 \pm 0,10
3	5	1,99 \pm 0,28	6	1,94 \pm 0,33
4	5	2,41 \pm 0,23	6	2,47 \pm 0,19
5	5	3,31 \pm 0,34	6	2,87 \pm 0,48

Zwischen der Chymusmasse und der Chymuswassermasse konnte mit $r = 0,999$ ($P < 0,001$) ein enger statistischer Zusammenhang¹¹ ermittelt werden.

Der Wassergehalt des Chymus betrug in der ersten Versuchsperiode im Mittel 86,44 % ($s = 3,33$; $n = 23$), in der zweiten Versuchsperiode im Mittel 86,50 % ($s = 1,53$; $n = 30$). Ein Vergleich¹² der Chymuswassergehalte der beiden Versuchsperioden ergab keinen signifikanten Unterschied (Anhang 9.5, Tabelle A 3).

Die Chymusmasse hängt nicht nur von der Futteraufnahme, sondern auch von der Lebendmasse ab. Mit zunehmender Lebendmasse verändert sich der Anteil der Chymusmasse an der Lebendmasse, wie aus der folgenden Aufstellung (Tabelle 13) zu entnehmen ist.

Tabelle 13: Anteil der Chymusmasse an der Lebendmasse (1. und 2. Versuchsperiode)

Tiergruppe	1. Versuchsperiode		2. Versuchsperiode	
	Tierzahl	kg; $\bar{x} \pm s$	Tierzahl	kg; $\bar{x} \pm s$
1	5	7,64 \pm 0,57	6	9,02 \pm 1,77
2	3	11,05 \pm 1,89	6	17,08 \pm 1,08
3	5	18,52 \pm 2,88	6	18,12 \pm 2,66
4	5	17,57 \pm 1,68	6	17,58 \pm 1,38
5	5	18,60 \pm 1,80	6	16,55 \pm 1,97

Die Daten zeigen, dass der Anteil der Chymusmasse an der Lebendmasse von der ersten bis zum dritten Tiergruppe schnell steigt und danach auf dem gleichen Niveau bleibt (1. Ver-

¹¹ Korrelationskoeffizienten siehe Abschnitt 3.4

¹² Nichtparametrischer Test siehe Abschnitt 3.4

suchsperiode) bzw. wieder leicht sinkt (2. Versuchsperiode). Der Grund für den Anstieg liegt in der Entwicklung des Vormagensystems, die zu einer Vergrößerung des Verdauungstraktes führt. Dieser Anstieg kennzeichnet damit den Übergang von der Physiologie eines monogastri- schen Tieres zu der eines Wiederkäuers.

Abb. 5 und Abb. 6 veranschaulichen, getrennt für die beiden Versuchsperioden, den Zusammen- hang zwischen der Chymus- und der Lebendmasse.

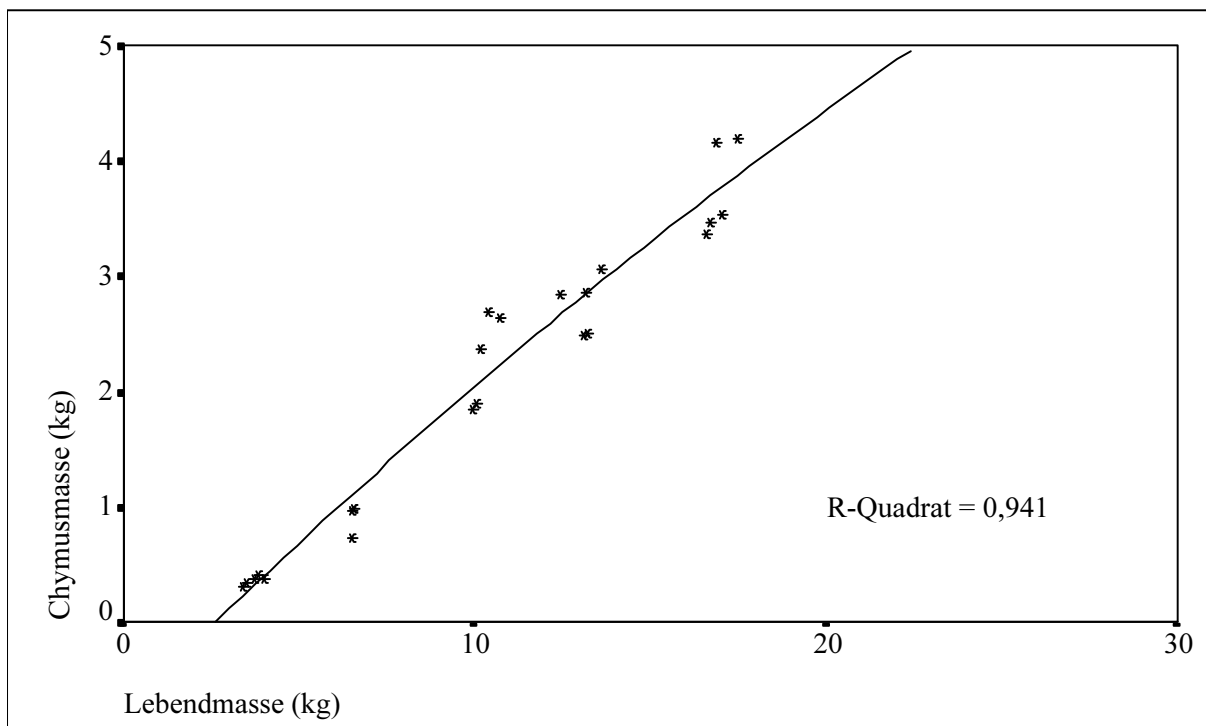


Abbildung 5: Abhängigkeit der Chymusmasse von der Lebendmasse (n = 23; 1. Versuchs- periode)

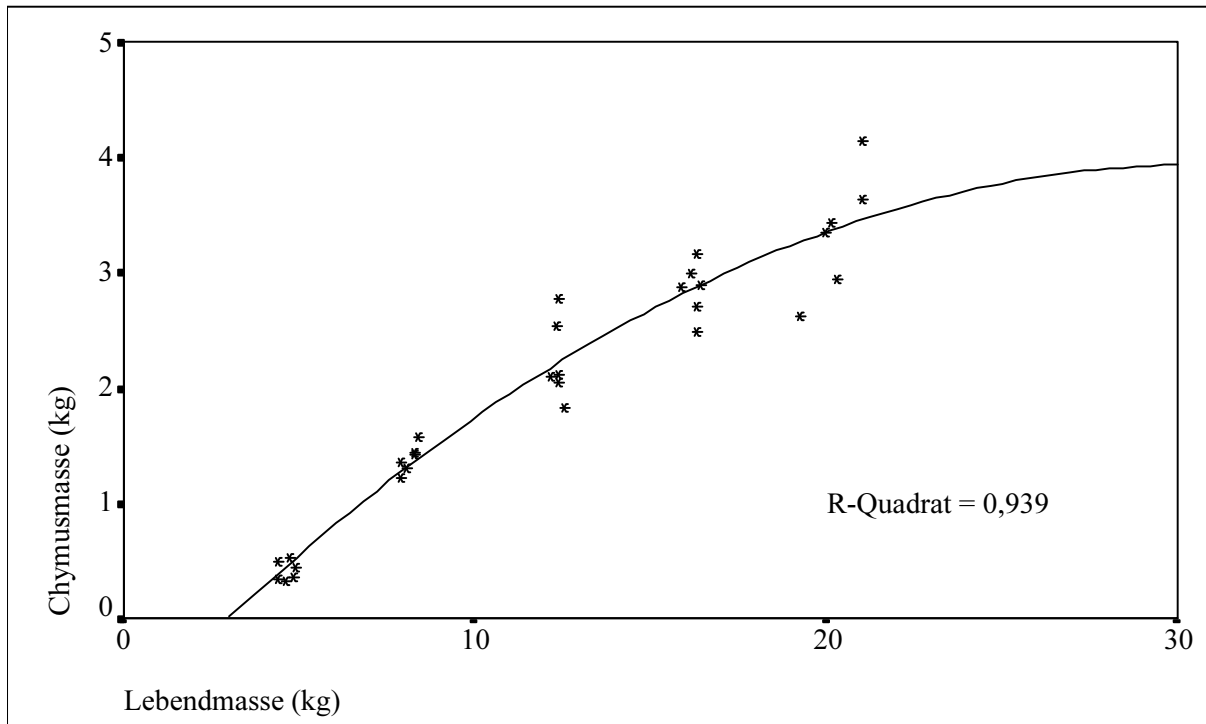


Abbildung 6: Abhängigkeit der Chymusmasse von der Lebendmasse (n = 30; 2. Versuchsperiode)

Anhand der Schätzung der Chymusmasse ist es möglich, die Leerkörpermasse zu berechnen, indem die geschätzte Chymusmasse von der Lebendmasse subtrahiert wird. Außerdem kann durch die Schätzung der Wassermasse im Chymus die Leerkörperwassermasse errechnet werden (siehe Anhang, Abschnitt 9.8). In Abhängigkeit von der Lebendmasse konnten folgende Schätzgleichungen für die Chymusmasse und die Wassermasse im Chymus gefunden werden:

- **1. Versuchsperiode**

Parameter	Koeffizienten	Statistische Maße
Chymusmasse (kg)	$0,067 * LM^{1,348}$	$R^2 = 0,941$; RSD = 0,32; RCV = 15,33 %
Chymuswassermasse (kg)	$0,056 * LM^{1,368}$	$R^2 = 0,946$; RSD = 0,27; RCV = 14,78 %

LM = Lebendmasse (kg)

• **2. Versuchsperiode**

Parameter	Koeffizienten	Statistische Maße
Chymusmasse (kg)	$0,891 + 0,315 * LM - 0,005 * LM^2$	$R^2 = 0,939$; $RSD = 0,28$; $RCV = 13,75 \%$
Chymuswassermasse (kg)	$-0,780 + 0,276 * LM - 0,005 * LM^2$	$R^2 = 0,933$; $RSD = 0,25$; $RCV = 14,38 \%$

LM = Lebendmasse (kg)

Wie aus den Bestimmtheitsmaßen zu ersehen ist, besteht zwischen der Lebendmasse und der Chymusmasse bzw. der Wassermasse im Chymus eine hohe Korrelation. Es zeigt sich außerdem, dass für die jeweilige Versuchsperiode unterschiedliche Regressionsmodelle am besten geeignet sind, die Abhängigkeit zu beschreiben.

Eine Abhängigkeit der Chymusmasse von der Futteraufnahme ist mit dem vorliegenden Datenmaterial nicht überprüfbar, da die Futtermassen, bezogen auf die metabolische Körpermasse, für alle Wachstumsabschnitte identisch waren (siehe Abschnitt 4.1).

Der Einfluss der Nüchterungsdauer bis zur Schlachtung auf die Chymusmasse wurde varianzanalytisch¹³ über alle 53 Tiere untersucht, wobei die Nüchterungsdauer als klassifizierter (kategorisierter) und die Lebendmasse als nicht klassifizierter (kontinuierlicher) Effekt in die Berechnung eingingen (Anhang 9.5, Tabelle A 4).

Als Ergebnis ist festzuhalten:

1. Die Veränderung der Nüchterungsdauer bis zur Schlachtung von 14 Stunden (1. Versuchsperiode, Gruppen 1 und 2) bzw. 42 Stunden (1. Versuchsperiode, Gruppen 3 bis 5) auf einheitlich 18 Stunden in der 2. Versuchsperiode hat keinen signifikanten Einfluss auf die Chymusmasse.

¹³ Varianzanalytisches Modell siehe Abschnitt 3.4

2. Dagegen ist der Einfluss der Verlängerung der Nüchterungsdauer bis zur Schlachtung von 14 auf 42 Stunden (1. Versuchsperiode, Gruppen 1 und 2 bzw. Gruppen 3 bis 5) auf die Chymusmasse signifikant.

Dies bedeutet zusammengefasst, dass eine Veränderung der Nüchterungsdauer um 4 bzw. 24 Stunden die Chymusmasse nicht signifikant beeinflusst (siehe 1.). Ein signifikanter Einfluss tritt erst bei einer Veränderung um 28 Stunden auf (siehe 2.)

Um die Bedeutung der Wassermasse im Chymus für den Verteilungsraum zu quantifizieren, wurde letztere als Anteil an der Ganzkörperwassermasse ausgedrückt (Tabelle 14). Hieraus ist zu ersehen, dass ab der zweiten Tiergruppe der Anteil der Wassermasse im Chymus an der Ganzkörperwassermasse sprunghaft steigt. Diese Tendenz ist identisch mit der Entwicklung des Anteils der Chymusmasse an der Lebendmasse (vgl. Tabelle 13).

Tabelle 14: Anteil der Chymuswassermasse an der Ganzkörperwassermasse (1. und 2. Versuchsperiode)

Tiergruppe	1. Versuchsperiode ^a		2. Versuchsperiode	
	Tierzahl	%; $\bar{x} \pm s$	Tierzahl	%; $\bar{x} \pm s$
1	5	10,85 \pm 0,82	6	10,85 \pm 2,15
2	3	16,22 \pm 2,47	6	20,32 \pm 0,96
3	5	25,96 \pm 3,11	6	21,77 \pm 3,36
4	5	25,63 \pm 1,98	6	21,46 \pm 1,48
5	5	26,98 \pm 2,02	6	20,21 \pm 2,20

a: Angaben ohne Werte für Kopf, Fell und Füße, da aus technischen Gründen eine chemische Analyse nicht möglich war

4.3.4 Chemisch bestimmter Ganzkörperwassergehalt

In Tabelle 15 sind die Ganzkörperwassergehalte, ermittelt anhand der Ganzkörperanalysen, für beide Versuchsperioden zusammengestellt. In beiden Versuchsperioden nahmen die Ganzkörperwassergehalte mit steigender Lebendmasse ab. Unterschiede zwischen den beiden Versuchsperioden sind möglicherweise auf den Ausschluss von Kopf, Fell und Füßen von der chemischen Analyse und auf die unterschiedliche Nüchterungsdauer innerhalb der ersten Versuchsperiode zurückzuführen. Nach eigenen Berechnungen lag der Ganzkörperwassergehalt aufgrund dieses Ausschlusses um rund 3 % höher.

Tabelle 15: Mittels chemischer Analyse bestimmte Ganzkörperwassergehalte (1. und 2. Versuchsperiode)

Tiergruppe	1. Versuchsperiode ^a		2. Versuchsperiode	
	Tierzahl	%; $\bar{x} \pm s$	Tierzahl	%; $\bar{x} \pm s$
1	5	74,68 \pm 0,69	6	72,87 \pm 0,90
2	3	74,21 \pm 0,87	6	72,78 \pm 1,37
3	5	74,32 \pm 1,61	6	71,82 \pm 1,32
4	5	71,64 \pm 2,66	6	70,69 \pm 1,34
5	5	72,19 \pm 1,74	6	69,66 \pm 2,91
1 - 5	23	73,34 \pm 2,04	30	71,56 \pm 2,03

a: Angaben ohne Werte für Kopf, Fell und Füße, da aus technischen Gründen eine chemische Analyse nicht möglich war

4.4 D₂O-Konzentrationen und –Massen; *in vivo* bestimmter Ganzkörperwassergehalt

4.4.1 D₂O-Konzentrationen in den Blutproben

Tabelle 16 enthält die im Blutwasser gemessenen D₂O-Konzentrationen. In beiden Versuchsperioden lagen die mittleren D₂O-Konzentrationen zwischen 800 und 1000 ppm; hierbei fällt die steigende Tendenz vom ersten bis zum fünften Injektionstermin auf.

Tabelle 16: D₂O-Konzentrationen im Blutwasser (1. und 2. Versuchsperiode)

Ende Wachstumsabschnitt	1. Versuchsperiode ^d		2. Versuchsperiode ^e	
	Probenzahl	ppm; $\bar{x} \pm s$	Probenzahl	ppm; $\bar{x} \pm s$
1 (4,0 – 5,0)	13 ^a	828 \pm 37	29 ^b	896 \pm 40
2 (8,0 – 9,0)	18	924 \pm 25	24	945 \pm 27
3 (12,0 – 13,0)	15	978 \pm 58	18	951 \pm 20
4 (16,0 – 17,0)	10	967 \pm 39	11 ^c	998 \pm 26
5 (20,0 – 21,0)	5	998 \pm 20	6	1009 \pm 34

a: Aus technisch-organisatorischen Gründen nur mit 13 Tieren durchgeführt; b: 1 Tier wegen Erkrankung ausgeschlossen; c: 1 Blutprobe wegen Ausreißer-Markerkonzentration von der Auswertung ausgeschlossen; d: Injizierte Markerdosis möglicherweise unkorrekt erfasst; e: Konzentrationen um die Blindwerte bereinigt

In einem weiteren Auswertungsschritt wurde festgestellt, dass sich die D₂O-Konzentrationen im Blutwasser der Parallelproben, d. h. zum Zeitpunkt „Null“ bzw. „Null + 30 Minuten“, nach der dritten, vierten bzw. fünften Injektion nicht signifikant voneinander unterscheiden (Anhang 9.5, Tabelle A 5 und Tabelle A 6). Dieses Ergebnis ist von besonderer Bedeutung vor dem Hintergrund, dass die Tiere zum Zeitpunkt der dritten Injektion bereits als Wiederkäuer anzusehen waren, sie jedoch lediglich 14 Stunden bis zur Injektion des Markers genüchtert wurden; bei den übrigen Tieren betrug die Nüchterungsdauer 18 Stunden in der ersten bzw. 14 Stunden in der zweiten Versuchsperiode (vgl. Abschnitt 3.2.3).

4.4.2 D₂O-Konzentrationen im Chymus

Aufgrund des signifikanten Einflusses der Verlängerung der Nüchterungsdauer bis zur Schlachtung von 14 auf 42 Stunden auf die Chymusmasse in der 1. Versuchsperiode ist eine zur 2. Versuchsperiode analoge Untersuchung des Einflusses der Chymusmasse unter ceteris paribus auf die Markerverteilung nicht möglich (siehe Abschnitt 4.3.3).

Die mittlere D₂O-Konzentration der Chymusproben der zweiten Versuchsperiode betrug im Mittel 906 ppm (Tabelle 17). Ein Vergleich dieser Konzentrationen mit den Konzentrationen im Blutwasser erlaubt Rückschlüsse auf die gleichmäßige Verteilung des Markers im gesamten Körperwasser.

Tabelle 17: D₂O-Konzentrationen im Blut- und Chymuswasser; relative Übereinstimmung (2. Versuchsperiode)

Tiergruppe	D ₂ O-Konzentrationen im Blutwasser ^a	D ₂ O-Konzentrationen im Chymuswasser	relative Übereinstimmung ^c
	ppm; $\bar{x} \pm s$	ppm; $\bar{x} \pm s$	%; $\bar{x} \pm s$
1 (6 Tiere)	919 ± 36	870 ± 30	94,74 ± 4,25
2 (6 Tiere)	933 ± 14	849 ± 43	90,93 ± 3,46
3 (6 Tiere)	947 ± 14	901 ± 27	95,19 ± 2,76
4 (5 Tiere) ^b	992 ± 21	943 ± 21	95,10 ± 1,40
5 (6 Tiere)	1009 ± 34	975 ± 42	96,63 ± 2,21
29 Tiere	959 ± 43	906 ± 57	94,50 ± 3,43

a: Werte nicht um Blindwerte bzw. D₂O-Verluste im Kot-Harn-Gemisch korrigiert; b: 1 Blut- bzw. Chymusprobe wegen Ausreißer-Markerkonzentration von der Auswertung ausgeschlossen; c: D₂O-Konzentrationen im Blutwasser = 100 %

Die Gegenüberstellung der Konzentrationen ergab, dass die Konzentration im Blutwasser mit im Mittel 959 ppm höher war als im Chymus, d. h. der Marker war nicht völlig gleichmäßig im Ganzkörperwasser verteilt. Dieser Unterschied war statistisch signifikant (Anhang 9.5, Tabelle A 7).

Die Berechnung des Ganzkörperwassergehaltes bei einer *gleichmäßigen* Markerverteilung zeigte, dass dieser (theoretische) Wert im Mittel um 1,09 % höher gelegen hätte als der Schätzwert, der anhand der durchgeführten D₂O-Injektion ermittelt wurde. In den einzelnen Tiergruppen wurden folgende Überschätzungen ermittelt (Tabelle 18):

Tabelle 18: Mittels D₂O geschätzte Ganzkörperwassergehalte bei letzter Injektion und theoretische Ganzkörperwassergehalte bei gleichmäßiger Markerverteilung; relative Übereinstimmung (2. Versuchsperiode)

Tiergruppe	geschätzter Ganzkörperwassergehalt ^a (D ₂ O)	theoretischer Ganzkörperwassergehalt ^a (D ₂ O)	relative Übereinstimmung ^c
	%; $\bar{x} \pm s$	%; $\bar{x} \pm s$	%; $\bar{x} \pm s$
1 (6 Tiere)	74,92 ± 2,83	75,37 ± 2,74	100,61 ± 0,39
2 (6 Tiere)	75,64 ± 1,04	77,10 ± 1,60	101,93 ± 0,82
3 (6 Tiere)	74,88 ± 1,01	75,66 ± 1,07	101,04 ± 0,49
4 (5 Tiere) ^b	73,99 ± 1,60	74,82 ± 1,56	101,13 ± 0,36
5 (6 Tiere)	72,80 ± 2,86	73,33 ± 2,91	100,73 ± 0,51
29 Tiere	74,46 ± 2,15	75,27 ± 2,34	101,09 ± 0,70

a: Die Ganzkörperwassergehalte sind um die Blindwerte und die D₂O-Verluste im KHG bereinigt; b: 1 Ausreißerwert von der Mittelwert-Berechnung ausgeschlossen; c: Geschätzter Ganzkörperwassergehalt = 100 %

Die Daten der Tabelle 18 zeigen eine durch die unvollkommene Verteilung des Markers verursachte geringfügige Überschätzung des ermittelten Ganzkörperwassergehaltes, ohne dass eine Tendenz erkennbar ist. Der Unterschied zwischen den Ganzkörperwassergehalten, errechnet anhand der gemessenen und der theoretischen Markerverteilung, war ebenfalls statistisch signifikant (Anhang 9.5, Tabelle A 8).

4.4.3 D₂O-Konzentrationen im Kot-Harn-Gemisch (KHG)

Die Daten zu den ausgeschiedenen Massen des Kot-Harn-Gemisches (KHG) während der Wartezeit zwischen der Markerinjektion und der letzten Blutprobe sind in Tabelle 19 angeführt. Wegen zu geringer Massen wurde auf die Erfassung des KHG beim ersten Injektionstermin verzichtet.

Tabelle 19: Massen des während der Wartezeit aufgefangenen Kot-Harn-Gemisches (1. und 2. Versuchsperiode)

Ende Wachstumsabschnitt	1. Versuchsperiode		2. Versuchsperiode	
(Lebendmasse, kg)	Probenzahl	g; $\bar{x} \pm s$	Probenzahl	g; $\bar{x} \pm s$
2 (8,0 – 9,0)	17 ^a	93 ± 39	24	64 ± 37
3 (12,0 – 13,0)	15	132 ± 56	18	176 ± 77
4 (16,0 – 17,0)	10	203 ± 91	11 ^b	212 ± 87
5 (20,0 – 21,0)	5	242 ± 70	6	324 ± 122

a: Sammlung des KHG eines Zwitter-Tieres technisch nicht möglich; b: 1 KHG-Probe wegen Ausreißer-Markerkonzentration von der Auswertung ausgeschlossen

In Tabelle 20 finden sich Angaben zu den mittleren D₂O-Konzentrationen im Wasser der Proben des KHG. Sie stiegen mit zunehmender Lebendmasse und wiesen z. T. erhebliche Standardabweichungen auf. Darüber hinaus waren sie in der ersten Versuchsperiode durchweg niedriger als in der zweiten. In Kombination mit niedrigeren KHG-Massen wurde während der ersten Versuchsperiode weniger D₂O ausgeschieden als in der zweiten.

Zwischen der D₂O-Konzentration im KHG und im Blutwasser bestehen signifikante Unterschiede in allen Wachstumsabschnitten (Anhang 9.5, Tabelle A 9).

Tabelle 20: D₂O-Konzentrationen im Wasser der Kot-Harn-Gemisch-Proben (1. und 2. Versuchsperiode)

Ende Wachstums abschnitt	1. Versuchsperiode		2. Versuchsperiode	
(Lebendmasse, kg)	Proben- zahl	ppm, $\bar{x} \pm s$	Proben- zahl	ppm, $\bar{x} \pm s$
2 (8,0 – 9,0)	17 ^a	633 ± 88	24	684 ± 246
3 (12,0 – 13,0)	15	707 ± 122	18	784 ± 98
4 (16,0 – 17,0)	10	754 ± 141	11 ^b	834 ± 61
5 (20,0 – 21,0)	5	749 ± 72	6	860 ± 80

a: Sammlung des KHG eines Zwitter-Tieres technisch nicht möglich; b: 1 KHG-Probe wegen Ausreißer-Markerkonzentration von der Auswertung ausgeschlossen

Aus den in Tabelle 21 angeführten prozentualen Anteilen der im KHG gemessenen an der injizierten Markerdosis ist zu ersehen, dass diese mit zunehmender Lebendmasse anstiegen, wobei der Anstieg in der ersten Versuchsperiode schwächer ausfiel. Für beide Versuchsperioden wurden hohe Standardabweichungen ermittelt.

Tabelle 21: Anteil der D₂O-Masse im Kot-Harn-Gemisch an injizierter D₂O-Dosis (1. und 2. Versuchsperiode)

Ende Wachstums abschnitt	1. Versuchsperiode		2. Versuchsperiode	
(Lebendmasse, kg)	Proben- zahl	%; $\bar{x} \pm s$	Proben- zahl	%, $\bar{x} \pm s$
2 (8,0 – 9,0)	17 ^a	0,95 ± 0,37	24	0,69 ± 0,43
3 (12,0 – 13,0)	15	1,00 ± 0,55	18	1,39 ± 0,66
4 (16,0 – 17,0)	10	1,15 ± 0,51	11 ^b	1,32 ± 0,58
5 (20,0 – 21,0)	5	1,05 ± 0,26	6	1,70 ± 0,61

a: 1 Tier wegen Erkrankung von diesem Injektionstermin zurückgestellt; b: 1 KHG-Probe wegen Ausreißer-Markerkonzentration der Auswertung ausgeschlossen

In der ersten Versuchsperiode konnten signifikante Unterschiede durch die Einbeziehung bzw. den Ausschluss der D₂O-Verluste im KHG bei der Berechnung der Ganzkörperwassergehalte festgestellt werden, nicht jedoch in der zweiten Versuchsperiode (Anhang 9.5, Tabelle A 10). Die analog errechneten Ganzkörperwassermassen unterschieden sich in beiden Ver-

suchsperioden signifikant (Anhang 9.5, Tabelle A 11).

Für die Beurteilung des Einflusses der Berücksichtigung der D₂O-Ausscheidung im KHG auf die Genauigkeit der Schätzung des Ganzkörperwassergehaltes sind die errechneten Gehalte der ersten Versuchsperiode mit bzw. ohne Korrektur in Tabelle 22 zusammengestellt.

Tabelle 22: Mittels D₂O geschätzte Ganzkörperwassergehalte mit bzw. ohne Korrektur um D₂O-Verluste im Kot-Harn-Gemisch; relative Übereinstimmung (n = 48; 1. Versuchsperiode)

Ganzkörperwassergehalte (D ₂ O) mit Korrektur um D ₂ O-Verluste im KHG	Ganzkörperwassergehalte (D ₂ O) ohne Korrektur um D ₂ O-Verluste im KHG	relative Übereinstimmung ^a
%; $\bar{x} \pm s$	%; $\bar{x} \pm s$	%; $\bar{x} \pm s$
72,28 ± 2,50	72,20 ± 2,46	100,11 ± 0,21

a: Ganzkörperwassergehalt ohne Korrektur um D₂O-Verluste im KHG = 100 %

Die korrigierten und die unkorrigierten Werte sind im Mittel nahezu identisch. Der Ganzkörperwassergehalt wurde in der ersten Versuchsperiode bei Berücksichtigung der Markerverluste im KHG um durchschnittlich 0,11 % höher geschätzt als der unkorrigierte Ganzkörperwassergehalt.

4.4.4 D₂O-Gehalt des Wassers von Kopf, Fell und Füßen

Das Wasser der Körperteile Kopf, Fell und Füße von sechs Tieren wurde durch eine Gefrier-trocknung gewonnen und dessen Gehalt an D₂O bestimmt. Die mittlere Markerkonzentration betrug 930 ppm und lag damit im Bereich der mittleren D₂O-Konzentration von 959 ppm bei den Blutproben (vgl. Abschnitt 4.4.2, Tabelle 17).

4.4.5 In vivo bestimmter Ganzkörperwassergehalt

Angaben zu den anhand der D₂O-Konzentration im Blutwasser, der injizierten D₂O-Dosis, der ausgeschiedenen D₂O-Masse, der Kot-Harn-Gemisch-Masse und der Lebendmasse zum

Zeitpunkt der Injektion berechneten Ganzkörperwassergehalten¹⁴ sind in Tabelle 23 enthalten.

Tabelle 23: Mittels D₂O geschätzte Ganzkörperwassergehalte (1. und 2. Versuchsperiode)

Ende Wachstumsabschnitt	1. Versuchsperiode ^a		2. Versuchsperiode	
	Tierzahl	%; $\bar{x} \pm s$	Tierzahl	%; $\bar{x} \pm s$
1 (4,0 - 5,0)	13	75,95 \pm 1,86	29 ^b	76,09 \pm 3,10
2 (8,0 - 9,0)	18	74,34 \pm 1,96	24	74,69 \pm 2,09
3 (12,0 - 13,0)	15	71,61 \pm 2,05	18	75,47 \pm 1,78
4 (16,0 - 17,0)	10	70,94 \pm 1,60	12	74,36 \pm 1,90
5 (20,0 - 21,0)	5	69,57 \pm 1,35	6	72,80 \pm 2,86

a: Werte ohne Blindwerte berechnet; b: 1 Tier wegen Erkrankung ausgeschlossen

Beiden Versuchsperioden gemeinsam ist die fallende Tendenz der mittleren Ganzkörperwassergehalte mit höheren Wachstumsabschnitten (= steigende Lebendmasse). Die Variationskoeffizienten variieren zwischen 2 % und 4 %. Die Abweichungen zwischen den Versuchsperioden sind möglicherweise auf Unterschiede bei der Injektionstechnik und auf die Nicht-Berücksichtigung von Blindwerten in der ersten Versuchsperiode zurückzuführen. Nach eigenen Berechnungen bewirkte die unvollständige Markerinjektion bzw. die Nicht-Berücksichtigung von Blindwerten eine um zwischen 1 % bis zu rund 5 % niedrigere Schätzung des Ganzkörperwassergehaltes.

4.5 Vergleich des mittels D₂O geschätzten mit dem anhand der Ganzkörperanalyse erfassten Ganzkörperwassergehalt

Angaben zu den anhand der Verdünnungsmethode und der chemischen Analyse erhaltenen Ganzkörperwassergehalten sind in Tabelle 24 und Tabelle 25 angeführt. Die Einzelwerte können dem Anhang (Abschnitt 9.1) entnommen werden. Bei den Tiergruppen 2 bis 5 sind die Werte für die mittels D₂O geschätzten Gehalte um die D₂O-Verluste im Kot-Harn-Gemisch bereinigt. Während in der ersten Versuchsperiode mit Ausnahme der ersten Tier-

¹⁴ Berechnungsformel siehe Abschnitt 3.3.2

gruppe der Ganzkörperwassergehalt unterschätzt wird, trifft für die zweite Versuchsperiode das Gegenteil zu. Sowohl die Unter- als auch die Überschätzung steigen mit zunehmender Lebendmasse. Dieser Prozess ist bei der ersten Versuchsperiode deutlicher ausgeprägt als bei der zweiten.

Tabelle 24: Mittels chemischer Analyse und D₂O erfasste Ganzkörperwassergehalte; relative Übereinstimmung (n = 23; 1. Versuchsperiode, ohne Kopf, Fell, Füße)

Tiergruppe	Ganzkörperwassergehalt (chemische Analyse)	Ganzkörperwassergehalt (D ₂ O)	relative Übereinstimmung ^a
	%; $\bar{x} \pm s$	%; $\bar{x} \pm s$	%; $\bar{x} \pm s$
1 (5 Tiere)	74,68 ± 0,69	75,87 ± 1,18	101,61 ± 2,36
2 (3 Tiere)	74,21 ± 0,87	73,17 ± 2,26	98,59 ± 2,02
3 (5 Tiere)	74,32 ± 1,61	73,34 ± 0,94	98,71 ± 1,58
4 (5 Tiere)	71,64 ± 2,66	70,14 ± 1,92	97,94 ± 1,66
5 (5 Tiere)	72,19 ± 1,74	69,57 ± 1,35	96,38 ± 1,44
23 Tiere	73,34 ± 2,04	72,35 ± 2,81	98,65 ± 2,45

a: Ganzkörperwassergehalt (chemische Analyse) = 100 %

Tabelle 25: Mittels chemischer Analyse und D₂O erfasste Ganzkörperwassergehalte; relative Übereinstimmung (n = 30; 2. Versuchsperiode)

Tiergruppe	Ganzkörperwassergehalt (chemische Analyse)	Ganzkörperwassergehalt (D ₂ O)	relative Übereinstimmung ^a
	%; $\bar{x} \pm s$	%; $\bar{x} \pm s$	%; $\bar{x} \pm s$
1 (6 Tiere)	72,87 ± 0,90	74,92 ± 2,83	102,78 ± 2,76
2 (6 Tiere)	72,78 ± 1,37	75,64 ± 1,04	103,94 ± 0,85
3 (6 Tiere)	71,82 ± 1,32	74,88 ± 1,01	104,27 ± 0,84
4 (6 Tiere)	70,69 ± 1,34	73,82 ± 1,49	104,44 ± 0,38
5 (6 Tiere)	69,66 ± 2,91	72,80 ± 2,86	104,51 ± 0,66
30 Tiere	71,56 ± 2,03	74,41 ± 2,13	103,99 ± 1,44

a: Ganzkörperwassergehalt (chemische Analyse) = 100 %

Die Unterschiede zwischen den ermittelten Ganzkörperwassergehalten wurden auf Signifikanz geprüft (Anhang 9.5, Tabelle A 12). Daraus ist zu entnehmen, dass sich in beiden Versuchsperioden die mittels D₂O geschätzten Ganzkörperwassergehalte signifikant von den mittels chemischer Analyse bestimmten Ganzkörperwassergehalten unterscheiden.

Analog zu Tabelle 24 und Tabelle 25 sind die Ganzkörperwassermassen in Tabelle 26 und Tabelle 27 dargestellt. Die Ganzkörperwassermassen werden in beiden Versuchsperioden überschätzt, allerdings in einem unterschiedlichen Ausmaß. Die Überschätzung fällt bei den Werten der ersten Versuchsperiode mit 4 % bis 22 % deutlich höher aus als bei der zweiten. Während bei der letzteren keine Tendenz festzustellen ist, sinkt in der ersten Versuchsperiode die Überschätzung mit zunehmender Lebendmasse. Der Grund hierfür liegt im Ausschluss der

Tabelle 26: Mittels chemischer Analyse und D₂O erfasste Ganzkörperwassermassen; relative Übereinstimmung (n = 23; 1. Versuchsperiode; ohne Kopf, Fell, Füße)

Tiergruppe	Ganzkörperwassermasse (chemische Analyse)	Ganzkörperwassermasse (D ₂ O)	relative Übereinstimmung ^a
	kg; $\bar{x} \pm s$	kg; $\bar{x} \pm s$	%; $\bar{x} \pm s$
1 (5 Tiere)	2,80 ± 0,17	3,55 ± 0,21	104,28 ± 0,97
2 (3 Tiere)	4,86 ± 0,08	5,93 ± 0,17	121,96 ± 2,48
3 (5 Tiere)	7,63 ± 0,29	8,93 ± 0,33	117,04 ± 1,21
4 (5 Tiere)	9,40 ± 0,53	10,81 ± 0,45	115,12 ± 3,14
5 (5 Tiere)	12,24 ± 0,43	13,76 ± 0,49	112,52 ± 3,48
23 Tiere	7,60 ± 3,47	8,83 ± 3,74	113,51 ± 6,14

a: Ganzkörperwassermasse (chemische Analyse) = 100 %

Tabelle 27: Mittels chemischer Analyse und D₂O erfasste Ganzkörperwassermassen; relative Übereinstimmung (n = 30; 2. Versuchsperiode)

Tiergruppe	Ganzkörperwassermasse (chemische Analyse)	Ganzkörperwassermasse (D ₂ O)	relative Übereinstimmung ^a
	kg; $\bar{x} \pm s$	kg; $\bar{x} \pm s$	%; $\bar{x} \pm s$
1 (5 Tiere)	3,39 ± 0,17	3,64 ± 0,16	107,32 ± 1,35
2 (3 Tiere)	5,92 ± 0,25	6,21 ± 0,23	104,91 ± 0,70
3 (5 Tiere)	8,88 ± 0,13	9,35 ± 0,27	105,29 ± 2,06
4 (5 Tiere)	11,50 ± 0,17	12,09 ± 0,25	105,26 ± 0,73
5 (5 Tiere)	14,15 ± 0,96	14,88 ± 1,17	105,11 ± 1,43
30 Tiere	8,77 ± 3,92	9,24 ± 4,12	105,58 ± 1,54

a: Ganzkörperwassermasse (chemische Analyse) = 100 %

Fraktion Kopf, Fell und Füße von der chemischen Analyse und der Nicht-Berücksichtigung der Blindwerte, da beide Punkte nach eigenen Untersuchungen mit zunehmender Lebendmasse an Bedeutung für die Berechnung der Ganzkörperwassermasse verlieren.

Der Vergleich der mittels der beiden Untersuchungsmethoden erfassten Ganzkörperwassermassen ergab signifikante Unterschiede für die erste und die zweite Versuchsperiode (Anhang 9.5, Tabelle A 13).

In einem weiteren Auswertungsschritt wurde geprüft, ob ein linearer Zusammenhang zwischen dem Ausmaß der Überschätzung des Ganzkörperwassergehaltes bzw. der -masse und der Höhe der täglichen Zunahmen bzw. dem Leerkörperrohproteingehalt oder der -masse bestand⁹. Tabelle 28 fasst die Ergebnisse für beide Versuchsperioden zusammen. Für die zweite Versuchsperiode bestand bei keiner der untersuchten Fragestellungen ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Ausmaß der Überschätzung und der Höhe der täglichen Zunahmen oder dem Rohproteingehalt/-masse des Leerkörpers. Dagegen konnten für die erste Versuchsperiode zwei signifikante Beziehungen ermittelt werden, nämlich zwischen der Überschätzung der Ganzkörperwassermasse und der Höhe der täglichen Zunahmen einerseits und zwischen der Überschätzung des Ganzkörperwassergehaltes und dem Leerkörperrohproteingehalt andererseits.

⁹ Korrelationskoeffizienten siehe Abschnitt 3.4

Tabelle 28: Korrelationskoeffizienten zwischen der Überschätzung des Ganzkörperwassergehaltes bzw. der -wassermasse und der Höhe der täglichen Zunahmen, dem Rohproteingehalt und der Rohproteinmasse des Leerkörpers (1. und 2. Versuchsperiode)

Variablen	Überschätzung des Ganzkörperwassergehaltes				Überschätzung der Ganzkörperwassermasse			
	1. Versuchsperiode		2. Versuchsperiode		1. Versuchsperiode		2. Versuchsperiode	
	r	p	r	p	r	p	r	p
Tägliche Zunahmen	0,373	0,080 n.s.	-0,003	0,988 n.s.	-0,454	0,030 *	-0,295	-0,355 n.s.
Leerkörperrohproteingehalt	-0,588	0,003 *	0,219	0,245 n.s.				
Leerkörperrohproteinmasse					0,313	0,146 n.s.	-0,355	0,054 n.s.

1. Versuchsperiode: n = 23; 2. Versuchsperiode: n = 30; * = signifikant; n.s. = nicht signifikant ($\alpha = 0,05$)

4.6 Beziehung zwischen dem Ganzkörperwassergehalt und der Leerkörperzusammensetzung

Wie in den vorangegangenen Abschnitten dargestellt, hat die Untersuchungsmethodik (Ein- bzw. Ausschluss von Kopf, Fell, Füßen, Verschiebung des Schlachtzeitpunktes) einen signifikanten Einfluss auf die Höhe des ermittelten Ganzkörperwassergehaltes bzw. -masse. Das bedeutet, dass ohne Berücksichtigung der genannten Faktoren die Präzision bei der Berechnung bzw. Schätzung des Ganzkörperwassergehaltes in der ersten Versuchsperiode nicht ausreichend ist. Für die weitere Auswertung dienen daher allein die Ergebnisse der zweiten Versuchsperiode.

Es wird zunächst untersucht, welcher Zusammenhang zwischen dem Ganzkörperwassergehalt mittels der Verdünnungsmethode und der anhand der chemischen Analyse bestimmten Leerkörperzusammensetzung besteht (Abb. 7 bis Abb. 10).

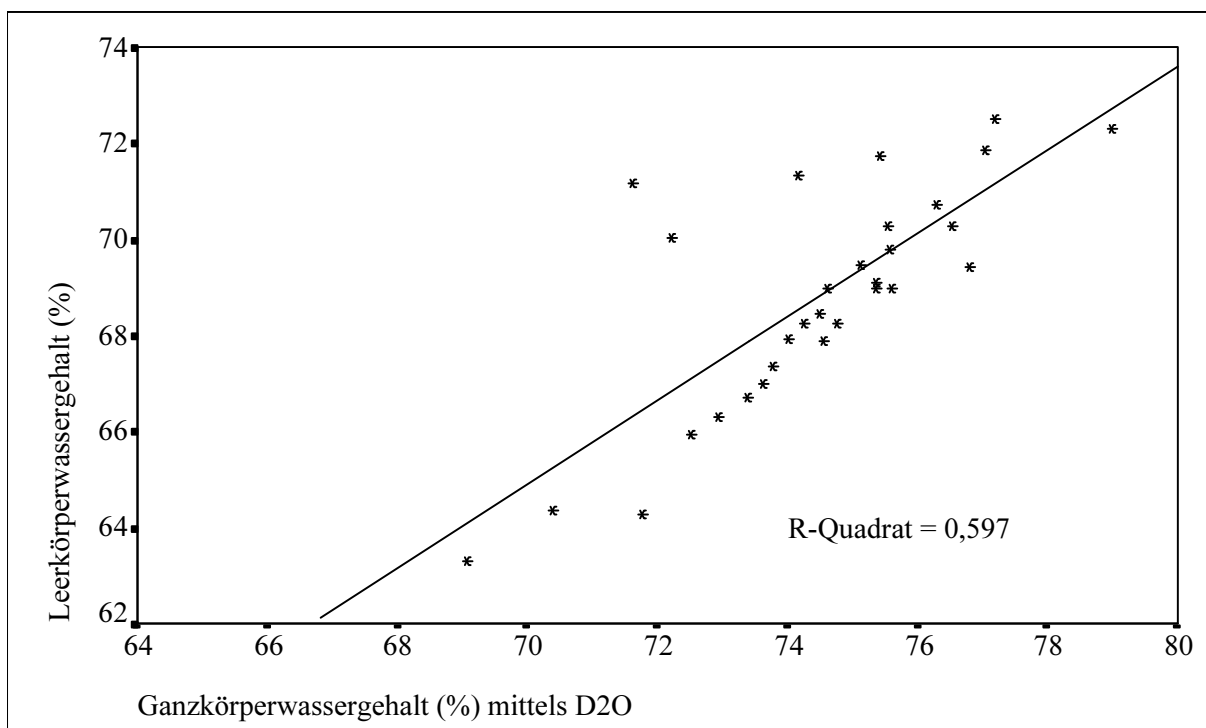


Abbildung 7: Leerkörperwassergehalt in Abhängigkeit vom mittels D₂O geschätzten Ganzkörperwassergehalt (n = 30; 2. Versuchsperiode)

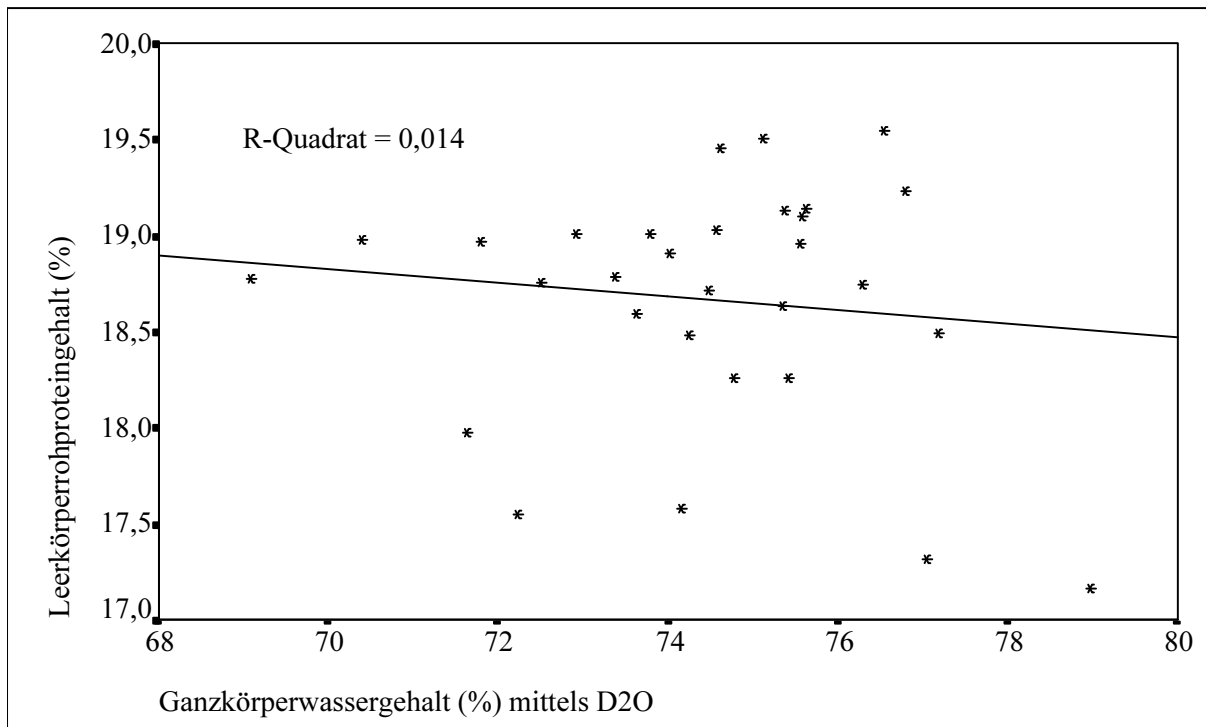


Abbildung 8: Leerkörperrohproteingehalt in Abhängigkeit vom mittels D₂O geschätzten Ganzkörperwassergehalt (n = 30; 2. Versuchsperiode)

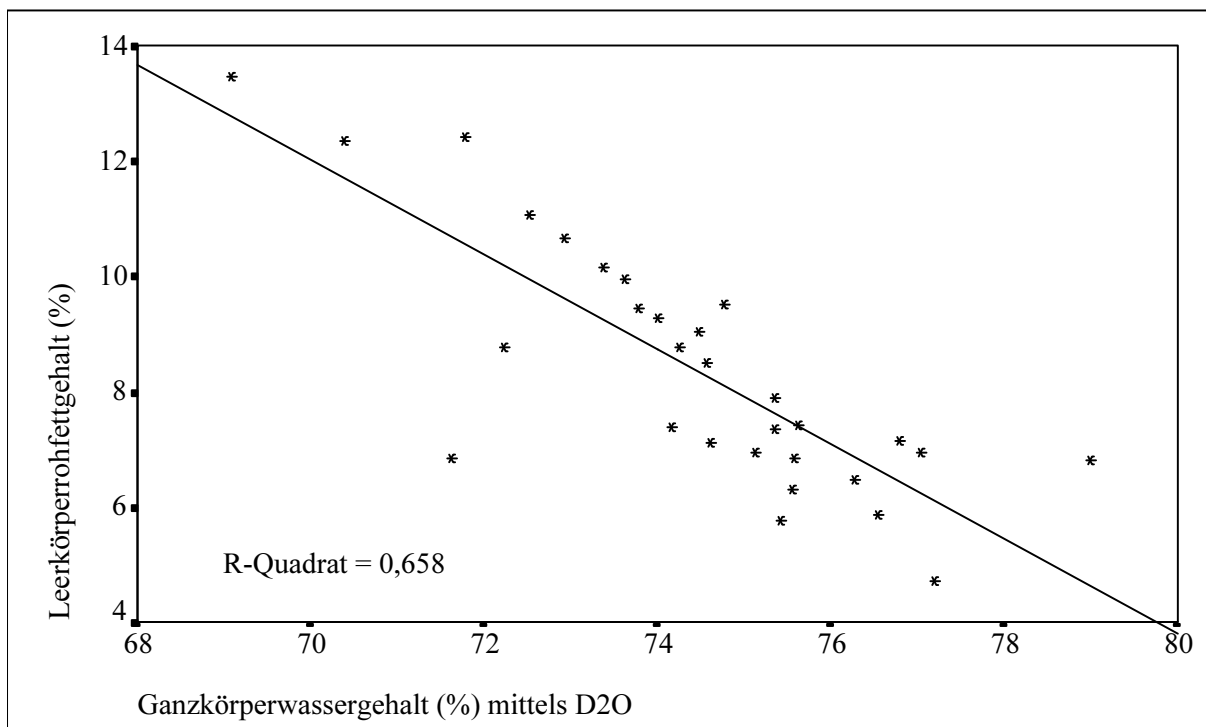


Abbildung 9: Leerkörperrohpfettgehalt in Abhängigkeit vom mittels D₂O geschätzten Ganz-

körperwassergehalt (n = 30; 2. Versuchsperiode)

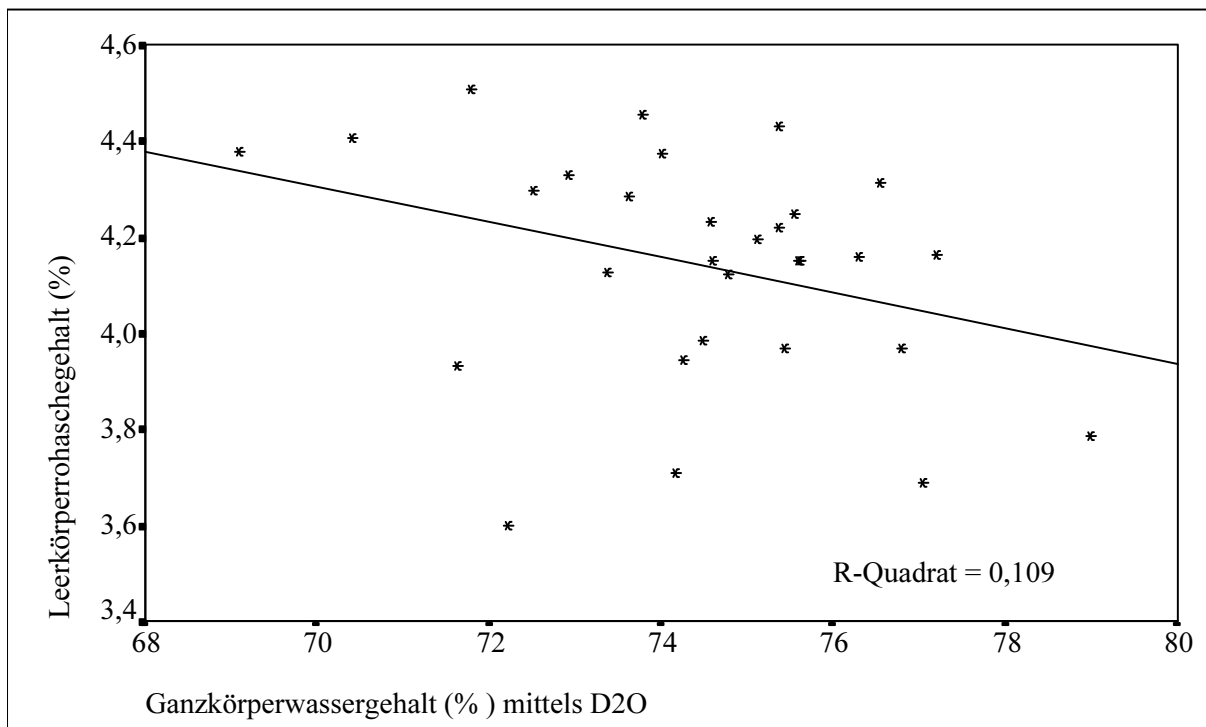


Abbildung 10: Leerkörperwasserhaschegehalt in Abhängigkeit vom mittels D₂O geschätzten Ganzkörperwassergehalt (n = 30; 2. Versuchsperiode)

Um den Zusammenhang zwischen dem mittels der Verdünnungsmethode erfassten Ganzkörperwassergehalt und den Leerkörperbestandteilen zu untersuchen, wurden folgende Regressionsgleichungen aufgestellt¹⁰:

¹⁰ Regressionsanalytisches Modell siehe Abschnitt 3.4

Parameter	Koeffizienten	Statistische Maße
Leerkörperwassergehalt (%)	$-3,850 + 0,872 * \text{GKH}_2\text{OD}_2\text{O}$	$R^2 = 0,597$; RSD = 1,54; RCV = 2,26 %
Leerkörperrohproteingehalt (%)	$21,267 - 0,035 * \text{GKH}_2\text{OD}_2\text{O}$	$R^2 = 0,014$ (n. s.); RSD = 0,63; RCV = 3,32 %
Leerkörperroh fettgehalt (%)	$69,436 - 0,820 * \text{GKH}_2\text{OD}_2\text{O}$	$R^2 = 0,658$; RSD = 1,27; RCV = 14,23 %
Leerkörperrohaschegehalt (%)	$6,888 - 0,037 * \text{GKH}_2\text{OD}_2\text{O}$	$R^2 = 0,109$ (n. s.); RSD = 0,23; RCV = 5,37 %

$\text{GKH}_2\text{OD}_2\text{O}$ = mittels D_2O geschätzter Ganzkörperwassergehalt (%)

Wie aus den Regressionsgleichungen zu ersehen ist, wurden für den Leerkörperwasser- und -fettgehalt die höchsten Bestimmtheitsmaße gefunden. Beim Rohfettgehalt ist jedoch der RCV-Wert recht hoch im Vergleich zu den übrigen analogen Werten. Zwischen dem Rohprotein- bzw. Rohaschegehalt des Leerkörpers und dem Ganzkörperwassergehalt mittels D_2O konnte kein signifikanter Zusammenhang festgestellt werden.

Insgesamt wird deutlich, dass der Ganzkörperwassergehalt mittels D_2O allein keine ausreichende Erklärung für die Varianz der Leerkörperbestandteile darstellt. In einem weiteren Schritt wurde daher die Lebendmasse als zusätzliche erklärende Variable in das Regressionsmodell aufgenommen¹¹. Der Korrelationskoeffizient zwischen den beiden erklärenden Variablen Lebendmasse und Ganzkörperwassergehalt mittels D_2O war mit $r = -0,3723$ ($P = 0,043$) nicht signifikant¹².

¹¹ Regressionsanalytisches Modell siehe Abschnitt 3.4

¹² Korrelationskoeffizienten siehe Abschnitt 3.4

Parameter	Koeffizienten	Statistische Maße
Leerkörperwassergehalt (%)	$22,244 - 0,212 * LM + 0,660 * GKH_2OD_2O$	$R^2 = 0,816$; RSD = 1,06; RCV = 1,56 %
Leerkörperrohproteingehalt (%)	$14,305 + 0,080 * LM + 0,045 (n. s.) * GKH_2OD_2O$	$R^2 = 0,477$; RSD = 0,47; RCV = 2,46 %
Leerkörperroh fettgehalt (%)	$60,488 + 0,103 * LM - 0,717 * GKH_2OD_2O$	$R^2 = 0,723$; RSD = 1,16; RCV = 13,05 %
Leerkörperrohaschegehalt (%)	$4,481 + 0,028 * LM - 0,009 (n. s.) * GKH_2OD_2O$	$R^2 = 0,490$; RSD = 0,18; RCV = 4,14 %

LM = Lebendmasse (kg); GKH_2OD_2O = mittels D_2O geschätzter Ganzkörperwassergehalt (%)

Es zeigt sich, dass durch die Aufnahme der Lebendmasse als zusätzliche erklärende Variable die Leerkörperbestandteile Wasser und Rohfett genauer zu schätzen sind, wobei der Einfluss der Lebendmasse auf den Wassergehalt höher ist als auf den Rohfettgehalt. Beim Rohprotein- bzw. Rohaschegehalt kann festgestellt werden, dass diese Bestandteile vor allem von der Lebendmasse abhängen, wenn auch in einem nicht sehr hohen Maß. Die Werte zeigen auch, dass durch die Regression von der Lebendmasse und des mittels D_2O geschätzten Ganzkörperwassergehaltes auf die Leerkörperbestandteile der Rohprotein- und der Rohaschegehalt des Leerkörpers nur ungenau geschätzt werden können.

4.7 Beurteilung der Aussagegenauigkeit der Verdünnungsmethode

Um die Genauigkeit der Schätzung der Leerkörperbestandteile zu erhöhen, wurde ein weiterer Berechnungsansatz gewählt, indem die Regressionsgleichungen für den Zusammenhang zwischen der Chymusmasse bzw. dem Chymuswassergehalt und der Lebendmasse einerseits und zwischen der fettfreien Leerkörpermasse und der Leerkörperzusammensetzung andererseits (siehe Abschnitte 4.3.2 und 4.3.3) verwendet wurden. Grafik 2 veranschaulicht diese Vorgehensweise. Eine systematische Zusammenstellung aller hierfür benutzten Regressionsgleichungen befindet sich im Anhang (Abschnitt 9.8).

Neben den in den genannten Abschnitten angeführten Regressionsgleichungen benötigt man die Schätzung des wahren Ganzkörperwassergehaltes anhand des mittels der Verdünnungsmethode geschätzten Ganzkörperwassergehaltes. Hierzu wurde folgende Gleichung aufgestellt:

Parameter	Koeffizienten	Statistische Maße
GKH ₂ OcA	$8,661 + 0,845 * \text{GKH}_2\text{OD}_2\text{O}$	$R^2 = 0,772$; RSD = 0,99; RCV = 1,38 %

GKH₂OcA = mittels Ganzkörperanalyse erfasster Ganzkörperwassergehalt (%); GKH₂OD₂O = mittels D₂O geschätzter Ganzkörperwassergehalt (%)

Grafik 2: Schätzung der Leerkörperzusammensetzung anhand des mittels der Verdünnungsmethode ermittelten Ganzkörperwassergehaltes und der geschätzten Chymusmasse bzw. Chymuswassermenge

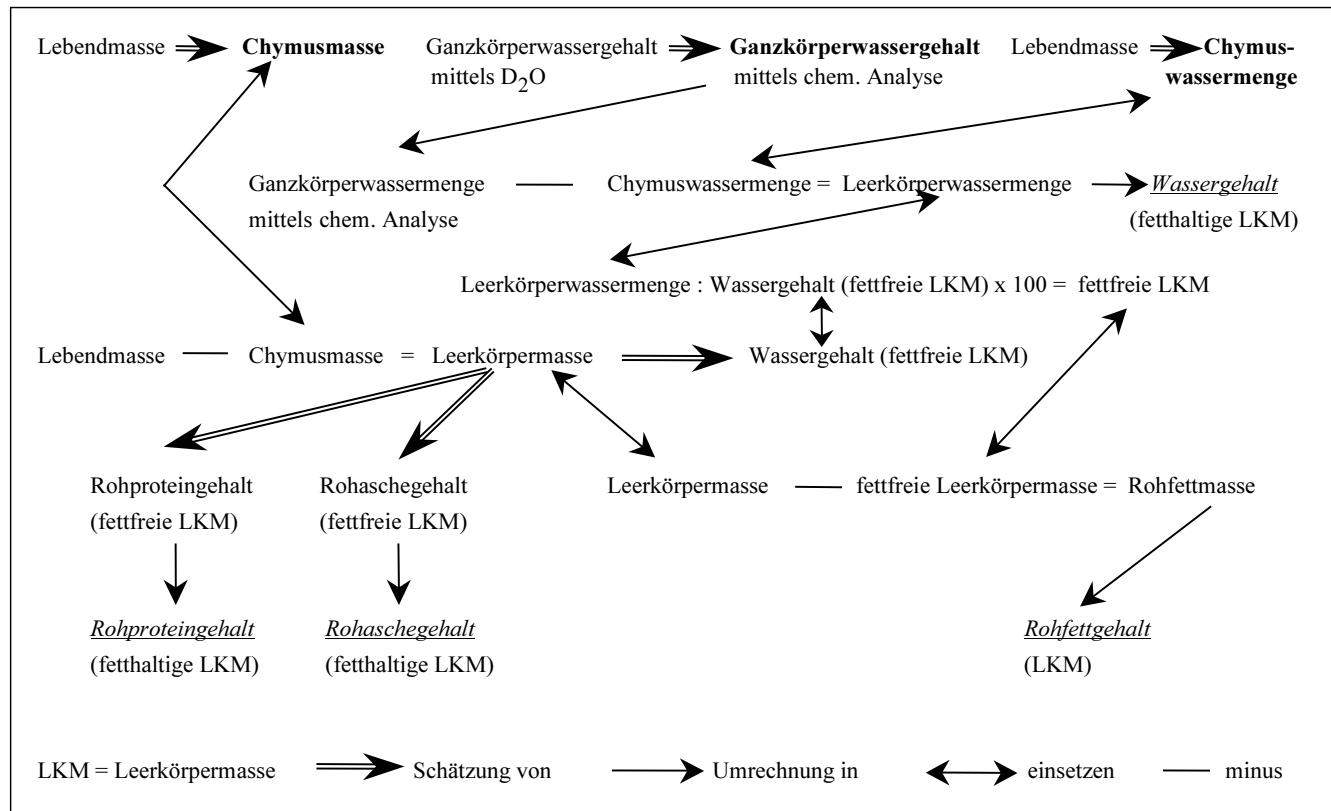


Abb. 11 veranschaulicht den Zusammenhang zwischen den mittels D₂O und anhand der Ganzkörperanalyse erfassten Ganzkörperwassergehalten.

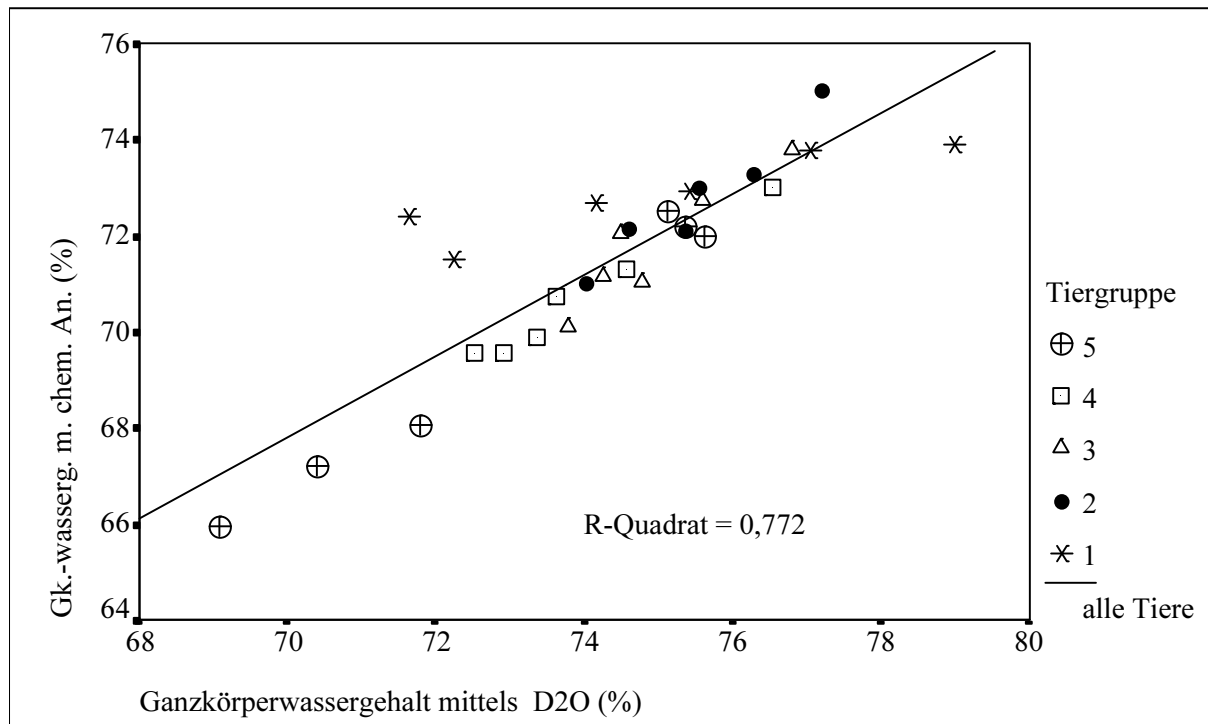


Abbildung 11: Zusammenhang zwischen den mittels D₂O und chemischer Analyse erfassten Ganzkörperwassergehalten (%; n = 30; 2. Versuchsperiode)

Die Werte der ersten Tiergruppe streuen am stärksten. Es wurde daher in einem zweiten Ansatz für die erste und die übrigen vier Tiergruppen getrennt jeweils eine Regressionsgleichung aufgestellt:

- **1. Tiergruppe**

Parameter	Koeffizienten	Statistische Maße
GKH ₂ OcA	$51,129 + 0,290 * \text{GKH}_2\text{OD}_2\text{O}$	$R^2 = 0,825$; RSD = 0,42; RCV = 0,58 %

GKH₂OcA = mittels Ganzkörperanalyse erfasster Ganzkörperwassergehalt (%); GKH₂OD₂O = mittels D₂O geschätzter Ganzkörperwassergehalt (%)

- 2. – 5. Tiergruppe

Parameter	Koeffizienten	Statistische Maße
GKH ₂ OcA	$-7,641 + 1,061 \cdot \text{GKH}_2\text{OD}_2\text{O}$	$R^2 = 0,961$; RSD = 0,42; RCV = 0,60 %

GKH₂OcA = mittels Ganzkörperanalyse erfasster Ganzkörperwassergehalt (%); GKH₂OD₂O = mittels D₂O geschätzter Ganzkörperwassergehalt (%)

Es ist offensichtlich, dass für das vorliegende Datenmaterial der wahre Ganzkörperwassergehalt anhand des Ganzkörperwassergehaltes mittels D₂O besser durch für die Tiergruppe 1 bzw. Tiergruppen 2 bis 5 getrennte Regressionsgleichungen geschätzt werden kann.

Im Folgenden wurden die Chymusmasse, die Chymuswassermasse, der Ganzkörperwassergehalt, die Leerkörpermasse und die Leerkörperbestandteile anhand der zu Beginn dieses Abschnittes und in Grafik 2 dargestellten Vorgehensweise geschätzt und den entsprechenden analytisch bestimmten Werten gegenübergestellt. Um die Genauigkeit der Verdünnungsmethode quantifizieren zu können, wurde die Streuung der relativen Übereinstimmung zwischen den anhand der beiden Untersuchungsmethoden (die chemische Analyse und die Verdünnungsmethode) ermittelten Werte untersucht. Hierzu erfolgte eine Berechnung des prozentualen Anteils des geschätzten Bestandteils am analytisch ermittelten Bestandteil des Ganz- bzw. Leerkörpers, wobei letzterer gleich 100 gesetzt wurde. Die Streuung der relativen Übereinstimmung zwischen den chemisch bestimmten und den geschätzten Bestandteilen ermöglicht so eine Beurteilung der Aussagegenauigkeit der Verdünnungsmethode bei der Anwendung an Ziegenlämmern mit Lebendmassen von 4 kg bis 20 kg (Tabelle 29).

Anhand der Verdünnungsmethode in Verbindung mit dem System von Regressionsgleichungen (von der Lebendmasse auf die Chymusmasse/-wassermasse, vom Ganzkörperwassergehalt mittels D₂O auf den Ganzkörperwassergehalt mittels chemischer Analyse und von der Leerkörpermasse auf die fettfreien Leerkörperbestandteile; siehe Abschnitt 9.8) können die Leerkörpermasse und die Leerkörperbestandteile Wasser, Rohprotein und Rohasche mit hoher Genauigkeit geschätzt werden. Beim Rohfettgehalt dagegen fällt die relativ hohe Standardabweichung auf, die einem Variationskoeffizienten von $cv = 16,95 \%$ entspricht. Auch die Schätzung der Chymusmasse und der Chymuswassermasse zeichnet sich durch eine größere Streuung aus.

Tabelle 29: Zusammenstellung der anhand chemischer Analyse und D₂O ermittelten Körperbestandteile; relative Übereinstimmung (n = 30; 2. Versuchsperiode)

Bestandteil	Chemische Analyse	D ₂ O	relative Übereinstimmung
	$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$	%; $\bar{x} \pm s$
Chymusmasse (kg)	2,05 ± 1,11	2,06 ± 1,07	103,08 ± 15,63
Chymuswassermasse (kg)	1,77 ± 0,95	1,76 ± 0,91	102,54 ± 15,63
Leerkörpermasse (kg)	10,29 ± 4,63	10,28 ± 4,62	99,98 ± 2,39
Ganzkörperwassergehalt (%)	71,56 ± 2,03	71,56 ± 1,99	100,00 ± 0,56
Leerkörperwassermasse (kg)	7,00 ± 3,01	7,01 ± 3,04	100,08 ± 3,09
Leerkörperwassergehalt (%)	68,78 ± 2,38	68,83 ± 2,55	100,08 ± 1,01
Leerkörperwassergehalt (fettfreie LKM; %)	75,06 ± 1,13	75,05 ± 1,00	100,00 ± 0,74
Leerkörpermasse (fettfrei; kg)	9,37 ± 4,12	9,39 ± 4,16	100,09 ± 3,45
Leerkörperroh fettmasse (kg)	0,92 ± 0,58	0,89 ± 0,62	97,85 ± 15,53
Leerkörperroh fettgehalt (%)	8,39 ± 2,13	8,29 ± 2,81	98,09 ± 16,63
Leerkörperroh proteingehalt (fettfreie LKM; %)	20,39 ± 0,87	20,40 ± 0,76	100,05 ± 2,21
Leerkörperroh proteingehalt (%)	18,67 ± 0,62	18,70 ± 0,75	100,16 ± 3,34
Leerkörperrohaschegehalt (fettfreie LKM; %)	4,53 ± 0,32	4,53 ± 0,25	100,19 ± 4,49
Leerkörperrohaschegehalt(%)	4,14 ± 0,24	4,15 ± 0,23	100,32 ± 5,52

Für die Beurteilung der Aussagegenauigkeit der Verdünnungsmethode wurde zusätzlich geprüft, ob sich die analytisch bestimmte Leerkörperzusammensetzung der fünf Tiergruppen signifikant voneinander unterscheidet¹³ und ob sich das Ergebnis dieses Vergleiches mit dem analog durchgeführten Vergleich der anhand der Regressionsgleichungen geschätzten Leerkörperzusammensetzung deckt. Anders ausgedrückt sollte die Möglichkeit, mittels Verdünnungsmethode geringe Unterschiede in der Leerkörperzusammensetzung als Effekt des Wachstumsabschnittes zu erfassen, getestet werden. Die Resultate sind in den folgenden Tabelle 30 und Tabelle 31 zusammengestellt, wobei die Unterschiede zwischen jeweils zwei Tiergruppen getestet wurden (Z-Werte und Werte für die entsprechende Überschreitungswahrscheinlichkeit siehe Anhang 9.5, Tabelle A 14 und Tabelle A 15).

¹³ Nichtparametrischer Test siehe Abschnitt 3.4

Tabelle 30: Vergleich der anhand der chemischen Analyse bestimmten Leerkörperzusammensetzung einzelner Tiergruppen (2. Versuchsperiode)

Gruppen	Wassergehalt	Rohproteingehalt	Rohfettgehalt	Rohaschegehalt
1 und 2	*	*	n.s.	*
1 und 3	*	*	*	*
1 und 4	*	*	*	*
1 und 5	*	*	*	*
2 und 3	*	n.s.	*	n.s.
2 und 4	*	*	*	*
2 und 5	*	*	*	*
3 und 4	*	n.s.	n.s.	n.s.
3 und 5	*	*	n.s.	*
4 und 5	n.s.	*	n.s.	*

= signifikant; n.s. = nicht signifikant ($\alpha = 0,05$)

Tabelle 31: Vergleich der anhand der Verdünnungsmethode geschätzten Leerkörperzusammensetzung einzelner Tiergruppen (2. Versuchsperiode)

Gruppen	Wassergehalt	Rohproteingehalt	Rohfettgehalt	Rohaschegehalt
1 und 2	*	*	n.s.	*
1 und 3	*	*	*	*
1 und 4	*	*	*	*
1 und 5	*	*	*	*
2 und 3	*	* ♦	n.s. ♦	* ♦
2 und 4	*	*	n.s. ♦	*
2 und 5	*	*	n.s. ♦	*
3 und 4	n.s. ♦	* ♦	n.s.	* ♦
3 und 5	*	n.s. ♦	n.s.	*
4 und 5	n.s.	n.s. ♦	n.s.	n.s. ♦

* = signifikant; n.s. = nicht signifikant ($\alpha = 0,05$); ♦ = Unterschied zwischen chemischer Analyse und Schätzung mittels Verdünnungsmethode

Beide Untersuchungsmethoden liefern identische statistische Ergebnisse bei den Gruppenvergleichen „1 und 2“ bis „1 und 5“. Von den übrigen 24 angeführten Gruppenvergleichen stimmen elf Ergebnisse nicht überein. Diese sind in Tabelle 31 mit einem „v“ gekennzeichnet. Es handelt sich vorwiegend um Unterschiede beim Rohprotein-, Rohfett- und bzw. Rohaschegehalt des Leerkörpers. Insgesamt ist die Übereinstimmung der Ergebnisse im Vergleich der Untersuchungsmethoden beim Leerkörperwassergehalt am besten. Allerdings muss beachtet werden, dass bei einer Gruppenstärke von sechs Tieren die Aussagesicherheit der statistischen Analyse eingeschränkt ist.

4.8 Vergleichende ökonomische Bewertung der Verdünnungsmethode und der chemischen Analyse

Im folgenden Kapitel soll aufgezeigt werden, wie sich die Kosten bei der Anwendung der beiden Untersuchungsmethoden im Rahmen dieser Forschungsarbeit zusammensetzten und wodurch Unterschiede begründet waren.

In Tabelle 32 sind die für ein einzelnes Tier berechneten Kosten vergleichend einander gegenübergestellt. Sie zeigt einen deutlichen Unterschied bei den Gesamtkosten der beiden zu vergleichenden Methoden, wobei die Kosten der Schlachtmethode mehr als doppelt so hoch liegen wie bei der Verdünnungsmethode. Die Gründe hierfür sind zum einen der höhere Arbeitszeitbedarf, zum anderen der Totalverlust des Tieres.

Tabelle 32: Vergleichende Kostenaufstellung für die Verdünnungsmethode und die chemische Analyse

Kostenpunkt	Verdünnungsmethode	Chemische Analyse
Tier (n = 1)	-----	80,-
Arbeitszeit (h/Tier)		
a. Tierarzt u. Labor	3,5 h	
b. Schlachtung, Aufbereitung, Labor		7,0 h
Arbeitskosten (DM/Tier)		
a. Tierarzt u. Labor	106,-	
b. Schlachtung, Aufbereitung, Labor		194,-
Material u. Geräte (DM/Tier)		
a. D ₂ O	15,-	
b. Einweg-Artikel pro Injektion	4,-	
c. Sublimation	13,-	
d. Messung	24,-	
e. Cutter		31,-
f. Gefriertrocknung		16,-
g. Weender-Analyse (Geräte)		14,-
h. Weender-Analyse (Chemikalien)		16,-
Summe (DM/Tier)	162,-	351,-
Vorteil der Verdünnungsmethode (DM/Tier)	189,-	-----

5 Diskussion

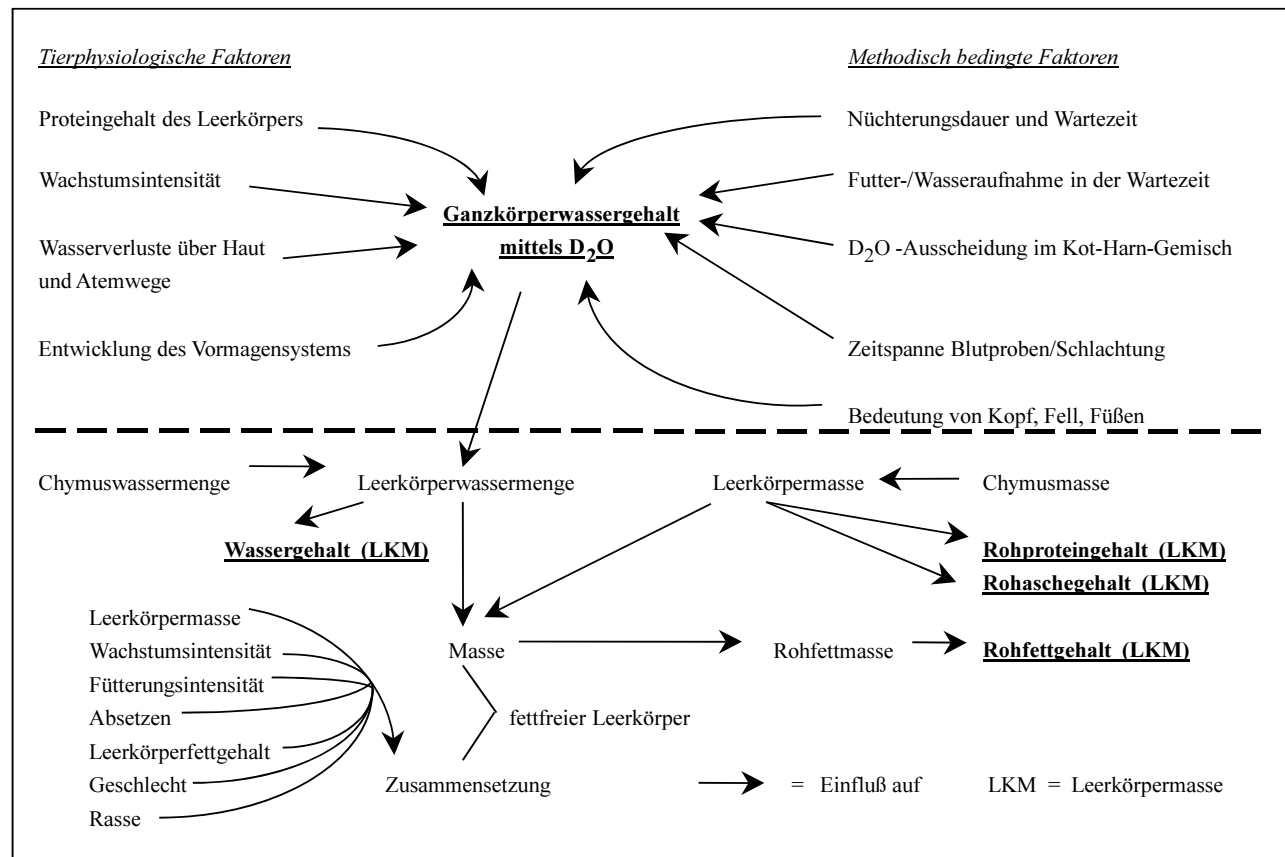
Im Rahmen der hier vorgestellten Arbeit erfolgt die Schätzung der Körperzusammensetzung in zwei Schritten. Zunächst wird der Ganzkörperwassergehalt anhand der Verdünnungsmethode geschätzt und damit auf den tatsächlichen Ganzkörperwassergehalt geschlossen. Dieser Wert dient anschließend, zusammen mit der geschätzten Chymusmasse und der Chymuswassermasse, zur Schätzung der Leerkörpermasse und deren Zusammensetzung. Die Ergebnisse zeigen, dass, mit Ausnahme des Fettgehaltes, die anhand dieser Vorgehensweise ermittelten Werte gut mit den durch die chemische Analyse erhaltenen Werten übereinstimmen (vgl. Abschnitt 4.7, Tabelle 29).

In den folgenden zwei Abschnitten werden verschiedene Einflussfaktoren auf die Mess- bzw. Schätzgenauigkeit des Ganzkörperwassergehaltes bzw. der -masse einerseits und auf die Schätzgenauigkeit der (fettfreien) Leerkörperzusammensetzung andererseits angeführt und im einzelnen diskutiert. Wenn auch nicht alle Faktoren in dieser Arbeit untersucht wurden, so sind sie doch u. U. von Bedeutung für die Verwendung der entwickelten Schätzgleichungen in weiteren Versuchen. Eine Übersicht über die diskutierten Faktoren und die hierdurch möglicherweise beeinflussten Parameter vermittelt Grafik 3. Im dritten Abschnitt werden die in der Literatur verwendeten Regressionsgleichungen zur Schätzung der Leerkörperzusammensetzung einer kritischen Bewertung unterzogen.

5.1 Einflussfaktoren auf den *in vivo* bzw. mittels chemischer Analyse bestimmten Ganzkörperwassergehalt bzw. auf die Ganzkörperwassermasse

Die Gegenüberstellung des mittels D₂O bzw. chemischer Analyse ermittelten Ganzkörperwassergehaltes zeigt, dass in der ersten Versuchsperiode der geschätzte Ganzkörperwassergehalt im Mittel $98,65 \% \pm 2,45$ des chemisch bestimmten Ganzkörperwassergehaltes betrug, was bedeutet, dass er um durchschnittlich 1,35 % unterschätzt wurde. In der zweiten Versuchsperiode dagegen wurde eine mittlere Überschätzung um $3,99 \% \pm 1,44$ errechnet (vgl. Abschnitt 4.5, Tabelle 24 und Tabelle 25).

Grafik 3: Mögliche Einflußfaktoren auf die Genauigkeit der Schätzung des Ganzkörperwassergehaltes und der Leerkörperzusammensetzung mittels der Verdünnungsmethode



Der Vergleich der mittels D₂O geschätzten mit der anhand der chemischen Analyse ermittelten Ganzkörperwassermasse ergab eine Unterschätzung durch die Verdünnungsmethode in der ersten Versuchsperiode, dagegen eine Überschätzung in der zweiten Versuchsperiode. Das Ausmaß der Überschätzung lag bei im Mittel $13,51 \% \pm 6,14$ für die erste bzw. $5,58 \% ; \pm 1,54$ für die zweite Versuchsperiode (vgl. Abschnitt 4.5, Tabelle 26 und Tabelle 27). Die hier vorgestellten Ergebnisse liegen im Rahmen von Literaturangaben. Letztere reichen von einer Überschätzung der Ganzkörperwassermasse von 2,2 % bei Ziegenlämmern (Schmidely et al., 1989) bis zu 10,6 % bei Rindern (Chigaru und Holness, 1983). Sheng und Huggings (1979) berichten von einer Überschätzung des Ganzkörperwassergehaltes um bis zu 15 %. Eine direkte Vergleichbarkeit der Überschätzung mit den vorliegenden Ergebnissen ist jedoch nicht möglich, da letztere durch eine Reihe von Effekten, wie z. B. durch die unterschiedlichen Versuchsbedingungen (Tierarten, Lebendmassen, Futter-/Wasseraufnahme während der Wartezeit etc.), beeinflusst werden können.

5.1.1 Tierphysiologische Einflussfaktoren

5.1.1.1 Proteingehalt des Leerkörpers und Wachstumsintensität

Verschiedene Ursachen für die Überschätzung des Ganzkörperwassergehaltes bzw. der -masse werden in der Literatur erwähnt. Einige Forscher vermuten, dass ein Austausch des Wasserstoffisotopes mit den labilen Wasserstoffatomen in verschiedenen chemischen Gruppen, wie z. B. Amino- und Carboxyl-Gruppen, dafür ursächlich ist (Culebras et al., 1977; Pinson, 1952). Dieser Prozess bewirkt, dass die davon betroffenen Markerionen nicht im Blutwasser erscheinen, somit dort die Markerkonzentration sinkt und dadurch eine höhere Schätzung der Ganzkörperwassermasse resultiert. Allerdings kann dieser Austausch nur etwa 5 % der Überschätzung erklären (Culebras et al., 1977). Die Ergebnisse, die anhand der hier vorgestellten Versuchsreihe an Ziegenlämmern erzielt worden sind, scheinen diese Ansicht zu bestätigen, da kein Zusammenhang zwischen der Proteinmasse des Leerkörpers und dem Ausmaß der Überschätzung festgestellt werden konnte (vgl. Abschnitt 4.5).

Andere Forscher sehen einen engen Zusammenhang zwischen der Überschätzung der Ganzkörperwassermasse und der Wachstumsintensität. Strube und Schülke (1980) meinen, dass mit zunehmender Wachstumsintensität die Überschätzung steigt, da bei hohen Wachstumsraten der Anteil des Proteingehaltes am Zuwachs steigt und dadurch ein höheres Potential für

den Austausch von Wasserstoffionen besteht. Sie werden in dieser Ansicht durch McManus et al. (1969) unterstützt, die bei Kaninchen und Ratten während einer Phase kompensatorischen Wachstums eine höhere Überschätzung beobachteten als bei der Kontrollgruppe mit normalem Wachstumsverlauf. Bei den eigenen Untersuchungen konnte jedoch auch die Wachstumsintensität keine Erklärung für dieses Phänomen liefern, da kein signifikanter Zusammenhang zwischen der relativen Überschätzung der Ganzkörperwassermasse und der Höhe der täglichen Zunahmen bestand (vgl. Abschnitt 4.5).

5.1.1.2 Wasserverluste über die Haut und die Atemwege

In Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur und der relativen Luftfeuchte gibt ein Körper während der Luftatmung ständig Wasser über die Haut und die Atemwege ab (Kolb und Gürtler, 1971). Auch die körperliche Leistung beeinflusst die Wasserabgabe. Es liegen in der Literatur weder Daten vor, in welchem Ausmaß bei Ziegenlämmern Wasser auf diesem Weg den Körper verlässt noch ob D_2O verdunstet und wenn ja, in welchem Verhältnis zum Wasser. Plausible Überlegungen führen jedoch zu Ergebnissen, die hier dargestellt werden sollen.

Der Siedepunkt von Wasser liegt bei 100 °C, der von D_2O bei 101,42 °C. Dieser Unterschied ist so gering, dass die Annahme einer gleichen Verdunstungsrate bei Wasser und D_2O gerechtfertigt erscheint. In der Literatur sind Hinweise zu finden, wonach bei geschorenen Schafen und einer Umgebungstemperatur von rund 18 °C eine Wasserverdunstung von 2,64 kg pro Tag (= 110 g pro Stunde) gemessen wurden (Kolb und Gürtler, 1971). Bei den eigenen Daten der zweiten Versuchsperiode wurde im Mittel eine Differenz zwischen der Lebendmasse bei der Injektion und der Lebendmasse bei der Schlachtung abzüglich der Verluste durch das Kot-Harn-Gemisch von 190 g ($s = 130$; $n = 25$) ermittelt und diese als Schätzwert für die Verluste über die Wasserverdunstung angenommen. Für eine mittlere Lebendmasse von 12,5 kg, einer mittleren KHG-Masse von 152 g, einer injizierten D_2O -Dosis von 8,75 g und einer D_2O -Konzentration von 900 ppm (= 0,9 g D_2O /1000 g) in den Blut- und Kot-Harn-Gemisch-Proben ergibt sich unter dieser Annahme der folgende Ganzkörperwassergehalt¹⁵:

¹⁵ Berechnungsformel siehe Abschnitt 3.3.2

$$8,75 \text{ g D}_2\text{O} - (0,9 \text{ g D}_2\text{O}/1000 \text{ g} * 190 \text{ g}) - (0,9 \text{ g D}_2\text{O}/1000 \text{ g} * 152 \text{ g}) * 100 /$$

$$[0,9 \text{ g D}_2\text{O} * (12,5 \text{ kg LM} - 0,19 \text{ kg Verdunstungswasser} - 0,152 \text{ kg KHG})] = 77,15 \%$$

Berechnet man dagegen den Ganzkörperwassergehalt ohne den Wasserverlust über die Verdunstung, beträgt der Wert 77,50 %. Das bedeutet, dass der geschätzte Ganzkörperwassergehalt ohne Berücksichtigung der Verluste etwas höher ausfallen und auf diese Weise zur Überschätzung des Ganzkörperwassergehaltes beitragen könnte. Inwieweit die hier vorgestellten Annahmen realistisch sind, kann nicht abschließend geklärt werden. Es ist durchaus denkbar, dass die Differenz zwischen den Lebendmassen nicht ausschließlich der Wasserverdunstung über die Haut und die Atemwege entspricht. Eine Messung der Verdunstung in Stoffwechselkammern könnte hierzu weitere Informationen liefern.

5.1.1.3 Entwicklung des Vormagensystems

Ein weiterer Faktor, der die Schätzgenauigkeit des Ganzkörperwassergehaltes beeinflussen kann, ist der Entwicklungsstand des Vormagensystems. So war ab der zweiten Tiergruppe der Anteil der Chymusmasse an der Lebendmasse rund doppelt so hoch wie bei den Tieren der ersten Gruppe (vgl. Abschnitt 4.3.3, Tabelle 13, zweite Versuchsperiode). Die gleiche Entwicklung findet beim Anteil der Chymuswassermasse an der Ganzkörperwassermasse statt. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass der Marker vom Blutstrom in Richtung Lumen des Gastro-Intestinaltraktes (Magen-Darm-Trakt) diffundiert, mithin also ein Konzentrationsgefälle bis zum Erreichen des Gleichgewichtes besteht. Eine niedrigere Markerkonzentration im Chymus- als im Blutwasser wiederum wirkt einer Überschätzung des Ganzkörperwassergehaltes *entgegen*. Die Vergrößerung der Vormägen verstärkt – bei gleichbleibender Wartezeit – dieses Phänomen und kann daher keinen Erklärungsbeitrag zur *Überschätzung* des Ganzkörperwassergehaltes liefern. Es ist allerdings zu beachten, dass der Effekt der Entwicklung des Vormagensystems auf die Schätzung des Ganzkörperwassergehaltes möglicherweise durch die Dauer der Wartezeit zwischen der Markerinjektion und der Blutprobenentnahme überlagert wird. Der letztgenannte Faktor wird in einem weiteren Abschnitt diskutiert.

Anhand der Ergebnisse der Arbeit von Robelin (1977) an Schaflämmern im Gewichtsabschnitt von 5 bis rund 33 kg kann man errechnen, dass der Anteil der Chymuswassermasse an der Ganzkörperwassermasse der ersten Tiergruppe (5 kg LM) 7,65 %, der zweiten Tiergruppe (12 kg LM) 9,02 % und der dritten Tiergruppe (22 kg LM) 15,46 % betrug. Diese Daten zei-

gen zum einen möglicherweise tierartspezifische Unterschiede bei der Entwicklung des Vormagensystems auf, wobei hier mangels entsprechender Angaben zum Fütterungsregime keine vergleichende Beurteilung des Einflusses durch die Ernährung vorgenommen werden kann. Zum anderen führte auch in dieser Untersuchung der Übergang von der Verdauungsphysiologie eines monogastrischen Tieres zum Wiederkäuer offensichtlich nicht zu Problemen bei der Schätzgenauigkeit des Ganzkörperwassergehaltes. Aus den vorliegenden Ergebnissen kann also geschlossen werden, dass die verdauungsphysiologische Entwicklung zum Wiederkäuer kein Hindernis für die Anwendbarkeit der Verdünnungsmethode darstellt, sofern die Wartezeit zwischen der Injektion und der Blutprobenentnahme ausreichend lang ist.

5.1.1.4 Konsequenzen für die Anwendbarkeit der Verdünnungsmethode

Bis heute sind die tatsächlichen Gründe für die Überschätzung weitgehend unbekannt (Od-wongo et al., 1984; Sheng und Huggings, 1979). Letztlich sind diese jedoch für die praktische Anwendung der Verdünnungsmethode von untergeordneter Bedeutung, da nicht nur bei den hier vorgestellten Ergebnissen, sondern auch in der Literatur unter der Voraussetzung standardisierter Versuchsbedingungen eine sehr enge Beziehung zwischen der mittels D₂O geschätzten und der anhand der chemischen Analyse ermittelten Ganzkörperwassermasse gefunden wurde. So reichen die RCV-Werte in der Literatur von 1,8 % bei Bird et al. (1982) bis zu 5,0 % bei Meissner et al. (1980) (vgl. Abschnitt 2.2.2.5, Übersicht 1). Diese Aussage wird durch die eigenen Untersuchungen bestätigt, da die Berechnung der Beziehung zwischen der chemisch erfassten und der geschätzten Ganzkörperwassermasse einen Schätzfehler von RCV = 1,55 % mit folgendem Modell ergab:

Parameter	Koeffizienten	Statistische Maße
GKH ₂ OMcA	$0,053^a + 0,931 \cdot$ GKH ₂ OMD ₂ O	$R^2 = 0,999$; RSD = 0,136; RCV = 1,55 %

GKH₂OmcA = mittels Ganzkörperanalyse erfasste Ganzkörperwassermasse (kg);

GKH₂OMD₂O = mittels D₂O geschätzte Ganzkörperwassermasse (kg); a = Konstante; nicht signifikant

Auch der bei der analogen Berechnung für den Ganzkörperwassergehalt erhaltene RCV-Wert von 1,38 % (vgl. Abschnitt 4.7) zeigt, dass sich unter standardisierten Versuchsbedingungen der anhand der chemischen Analyse ermittelte Ganzkörperwassergehalt gut mit Hilfe des geschätzten Gehaltes beschreiben lässt, ohne dass weitere Korrekturen vorgenommen werden müssen. Dies bedeutet, dass die Überschätzung an sich, verursacht durch tierbedingte Faktoren, die Anwendbarkeit der Verdünnungsmethode nicht einschränkt.

5.1.2 Methodisch bedingte Einflussfaktoren

5.1.2.1 Nüchterungsdauer; Futter-/Wasseraufnahme während der Wartezeit zwischen der Markerinjektion und der Blutprobenentnahme

Der Gastro-Intestinaltrakt stellt speziell bei Wiederkäuern einen erheblichen Anteil des Verteilungsraumes für den Marker dar und ist aufgrund der Variabilität der Chymusmasse eine mögliche Fehlerquelle bei der Schätzung des Ganzkörperwassergehaltes. Eine Nüchterung bis zur Injektion des Markers dient der Reduzierung der Chymusmasse. Neben der Nüchterung hat auch eine Futter- bzw. Wasseraufnahme während der Wartezeit zwischen der Markerinjektion und der letzten Blutprobe möglicherweise einen Einfluss auf das Erreichen des Verteilungsgleichgewichtes, weswegen beide genannten Effekte hier gemeinsam betrachtet werden.

Die D₂O-Konzentrationen der Blutproben unterschieden sich signifikant von den Konzentrationen im Chymus, wobei die letzteren niedriger ausfielen (vgl. Abschnitt 4.4.3, Tabelle 17). Bei einer gleichmäßigen Markerverteilung wäre der mittels D₂O geschätzte Ganzkörperwassergehalt um im Mittel 1,09 % relativ höher ausgefallen. Dieser Betrag und die Tatsache, dass zwischen den D₂O-Konzentrationen der Parallel-Blutproben keine signifikanten Unterschiede auftraten (vgl. Abschnitt 4.4.2), sprechen jedoch dafür, dass das Verteilungsgleichgewicht weitestgehend erreicht war. Das wiederum bedeutet, dass die Nüchterungsdauer von 13 Stunden bis zur Markerinjektion in Kombination mit einer fortgesetzten Nüchterung während der Wartezeit von 4,5 bzw. 5,5 Stunden bis zur Blutprobenentnahme (in Abhängigkeit von der Lebendmasse) für die vollständige Verteilung des Markers im gesamten Körperwasser bei Ziegenlämmern im Gewichtsabschnitt von 4 bis 20 kg ausreicht.

Vergleichbare Angaben sind in der Literatur nur spärlich vorhanden. Es muss hierbei außerdem beachtet werden, dass die Geschwindigkeit der Markerverteilung (und damit die Wartezeit) im engen Zusammenhang mit dem Wasserumsatz eines Körpers steht, der wiederum Einflüssen wie Entwicklungszustand, Alter, Klima und Leistung unterliegt (Kolb und Gürtler, 1971). So konnten Cowan et al. (1980) an Schafen die Veränderung des Wasserumsatzes im Laufe der Laktation zeigen. Ghosh et al. (1980) wiesen an Büffeln, Rindern, Schafen und Ziegen jeweils einen höheren Wasserumsatz im Sommer als im Winter nach. Diese physiologische Gegebenheit und die Tatsache, dass in der Literatur keine vollständigen Angaben zur Nüchterungsdauer und zur Futter- bzw. Wasseraufnahme während der Wartezeit anzutreffen sind, schränken die Vergleichbarkeit der Literaturangaben zu der als notwendig erachteten Zeitspanne für das Erreichen des Markergleichgewichtes erheblich ein.

Bei der Injektion von D_2O an 20 Schaflämmern wurde das Verteilungsgleichgewicht nach vier Stunden erreicht (Robelin, 1977). Hierbei ist zu beachten, dass die Tiere während der Wartezeit freien Zugang zu Futter und Wasser hatten, wohingegen dem Artikel nicht zu entnehmen war, ob die Tiere vor der Injektion genüchtert worden waren. Ähnlich verhält es sich bei einer Untersuchung von Schmidely et al. (1989) an 41 Ziegenlämmern. Hier war das Verteilungsgleichgewicht bereits nach zwei Stunden erreicht. Chigaru und Holness (1983) geben fünf Stunden bei Färsen (131 bis 399 kg LM), Meissner et al. (1980) vier Stunden bei Bullen (101 bis 772 kg LM) und Houseman et al. (1978) ebenfalls vier Stunden bei tragenden Schafen an. Unter Berücksichtigung der Möglichkeit der Beeinflussung des Wasserumsatzes durch die oben angeführten Faktoren fällt dennoch die weitgehende Übereinstimmung der Wartezeiten zwischen den Tierarten auf, was ein Hinweis darauf sein könnte, dass ab einer bestimmten Wartezeit die genannten Einflussfaktoren (Entwicklungszustand, Alter, Klima und Leistung) eine untergeordnete Rolle spielen. Diese Schlussfolgerung wiederum deckt sich mit dem in Abschnitt 5.1.1.3 angeführten Ergebnis, dass die verdauungsphysiologische Entwicklung zum Wiederkäuer unter der Voraussetzung einer ausreichend langen Wartezeit keinen Einfluss auf die gleichmäßige Verteilung des Markers hat.

Wie bereits geschildert, sind die ermittelten Wartezeiten nur bedingt miteinander vergleichbar, was u. a. auf unvollständige Angaben zur Nüchterungsdauer bzw. Futter- und Wasseraufnahme während der Wartezeit zurückzuführen ist. Jedoch sind anhand theoretischer Überlegungen und eigener Untersuchungen einige Schlussfolgerungen möglich.

Die Nüchterung bewirkt in Abhängigkeit von deren Dauer eine Verringerung der Chymusmasse. Wegen der hohen positiven Korrelation der Chymusmasse zur Chymuswassermasse (vgl. Abschnitt 4.3.3) ist letztere mit Sicherheit ebenfalls beeinflusst, was durch Beobachtungen von Bass und Duganzich (1980) bestätigt wird. Die Autoren teilten 51 Rinder in einem Alter von 20 bis 36 Monate in fünf Gruppen mit unterschiedlicher Nüchterungsdauer auf. Die Schlachtung der Tiere ergab, dass innerhalb der ersten 24 Stunden sowohl die Trockenmasse als auch die Wassermasse im Gastro-Intestinaltrakt am stärksten abnehmen. Auch die Untersuchung von Deguchi et al. (1991) an drei kastrierten männlichen Ziegen zeigten niedrigere Trockenmassen im Gastro-Intestinaltrakt durch die Nüchterung. Eine Reduktion der Chymuswassermasse bedeutet, dass sich der Verteilungsraum für den Marker verkleinert. Dieses wiederum müsste eine kürzere Zeitspanne für das Erreichen des Verteilungsgleichgewichtes bewirken. Nimmt das Tier dagegen Futter und/oder Wasser während der Wartezeit auf, so vergrößert sich der Verteilungsraum, was eine Verlängerung der notwendigen Zeit bis zur abgeschlossenen Verteilung des Markers zur Folge haben könnte. Die Nüchterungsdauer und die Futter- bzw. Wasseraufnahme während der Wartezeit würden demnach entgegengesetzte Effekte auf den Verteilungsraum ausüben. Ist die Nüchterungsdauer zu kurz oder hat das Tier Futter bzw. Wasser aufgenommen, könnte eine unvollständige Verteilung des Markers auftreten, mit der Folge, dass der geschätzte Ganzkörperwassergehalt niedriger ausfallen würde als bei einer völlig gleichmäßigen Verteilung. Dieser Umstand ist dann von Bedeutung, wenn lediglich eine oder zwei dicht aufeinander folgende Blutproben zu einem vorher festgesetzten Zeitpunkt entnommen werden. Werden dagegen, wie in der Literatur beschrieben, Blutproben über einen Zeitraum von mehreren Stunden gezogen, kann aufgrund des Konzentrationsabfalles auf den Gleichgewichtspunkt geschlossen werden. Die Effekte der Nüchterung und Futteraufnahme spielen dann eine untergeordnete Rolle. Diese Schlussfolgerung wird durch Versuche von Dunshea et al. (1988) an laktierenden Ziegen und Cowan et al. (1980) an laktierenden Schafen bestätigt. Die Autoren fanden, dass auch ohne vorherige Nüchterung eine präzise Schätzung des Ganzkörperwassergehaltes möglich ist und auf diese Weise ein Leistungseinbruch verhindert werden kann. Dagegen führen Meissner et al. (1980) und Viljoen et al. (1988) die Überschätzung der Ganzkörperwassermasse um bis zu 15 % gerade auf die nicht durchgeführte Nüchterung der Bullen bzw. Ziegen und damit auf eine unvollständige Markerverteilung zurück. Nach den eigenen Untersuchungen bewirkt letztere jedoch eine niedrigere Schätzung als bei einer gleichmäßigen Verteilung. Demnach kann eine nicht vorgenommene Nüchterung kein Grund für die Überschätzung der Ganzkörperwassermasse oder des Gehaltes darstellen.

5.1.2.2 D₂O-Ausscheidung mit dem Kot-Harn-Gemisch

Die Messungen der D₂O-Konzentrationen im Kot-Harn-Gemisch (KHG) haben eine erhebliche Schwankungsbreite ergeben (vgl. Abschnitt 4.4.3, Tabelle 35). Diese Variabilität ist durch ein unterschiedliches Absatzverhalten der Ziegenlämmer während der Wartezeit zu erklären. Wird z. B. sehr früh nach der erfolgten Injektion des Markers Kot oder Harn abgesetzt, so ist die Verteilung des Markers noch nicht abgeschlossen. Dementsprechend niedrig kann die Konzentration im KHG ausfallen. Entscheidend für die Beurteilung der Relevanz der D₂O-Ausscheidung ist neben der Konzentration die Masse des KHG und damit die ausgeschiedene D₂O-Masse. Der Anteil dieser Masse an der injizierten Dosis erreichte einen Wert von bis zu 1,7 % ($\pm 0,61$). Die Berechnung der geschätzten Ganzkörperwassergehalte unter Berücksichtigung der D₂O-Verluste im KHG zeigt, dass die korrigierten Werte höher oder niedriger als die unkorrigierten Werte ausfallen können. Der Vergleich der geschätzten Ganzkörperwassergehalte mit bzw. ohne Berücksichtigung der D₂O-Verluste im KHG ergab signifikante Unterschiede für die erste, nicht jedoch für die zweite Versuchsperiode. Es konnte keine Erklärung gefunden werden, warum sowohl die D₂O-Ausscheidungen als auch die KHG-Massen in der zweiten Versuchsperiode im Mittel höher waren als in der ersten bei einer gleichzeitig höheren Streuung. Für die Beurteilung, wie groß der Einfluss der Korrektur um die Verluste im KHG auf die Genauigkeit der Schätzung des Ganzkörperwassergehaltes ist, wurden die Übereinstimmung der korrigierten mit den unkorrigierten Werten berechnet (vgl. Abschnitt 4.4.3, Tabelle 22). Danach unterscheiden sich die Werte nur marginal; im Mittel wurde der korrigierte Ganzkörperwassergehalt um 0,11 % höher geschätzt als der unkorrigierte Wert. Aus den hier vorgestellten Ergebnissen kann daher gefolgert werden, dass zwar durchaus ein Einfluss der D₂O-Ausscheidung auf die Schätzgenauigkeit vorliegen kann, dieser jedoch bei Ziegenlämmern im untersuchten Gewichtsabschnitt zu vernachlässigen ist.

Midwood et al. (1993) untersuchten mit Hilfe der Verdünnungsmethode den Wasserumsatz von vier Schafen mit einer mittleren Lebendmasse von 35 kg. Sie fanden, dass als Folge des Markerverlustes im Kot der Wasserfluss um 0,75 % überschätzt wurde. Sie empfehlen daher, die D₂O-Verluste zu berücksichtigen, speziell bei der Verabreichung von Grundfutter, das zu einer erheblichen Steigerung der Trockenmasse im Kot führt. Aus der vergleichenden Betrachtung der Ergebnisse von Midwood et al. (1993) mit den eigenen Ergebnissen kann man

ableiten, dass die Relevanz der Markerverluste sowohl von der Lebendmasse des Tieres als auch vom Fütterungsregime abhängig ist.

5.1.2.3 Zeitspanne zwischen der Blutprobenentnahme und der Schlachtung

Die Tiere der ersten Versuchsperiode wurden 18,5 Stunden (Gruppen 1 und 2) bzw. 19,5 Stunden (Gruppen 3 bis 5) nach der letzten Blutprobenentnahme geschlachtet. Hierbei wurde unterstellt, dass keine wesentlichen Veränderungen in der Körperzusammensetzung in diesem Zeitraum auftraten. Der Vergleich der Lebendmassen am Tag der Markerinjektion mit denen am Tag der Schlachtung erbrachte jedoch signifikante Unterschiede (vgl. Abschnitt 4.2, Tabelle 5). Im Mittel lagen die Lebendmassen am Tag der Injektion um 0,31 kg oder 1,55 % höher als am Tag der Schlachtung. Die Vermutung liegt nahe, dass der Massenverlust durch eine Reduzierung der Füllung des Gastro-Intestinaltraktes verursacht wurde. Da die Chymusmasse im Mittel zu rund 86 % aus Wasser bestand und ein sehr enger Zusammenhang zwischen der Chymusmasse und der Chymuswassermasse vorlag (vgl. Abschnitt 4.3.3), ist davon auszugehen, dass eine Abnahme der Chymusmasse eine Verringerung der Chymuswassermasse in annähernd gleicher Größenordnung bewirkte. Aus diesen Überlegungen folgt, dass in der Zeitspanne zwischen der letzten Blutprobe und der Schlachtung eine Änderung der Ganzkörperwassermasse auftreten könnte und diese die Vergleichbarkeit der zum Zeitpunkt der Blutproben bzw. der Schlachtung ermittelten Ganzkörperwassermasse einschränkt. Dies bedeutet, dass, wenn die Anwendbarkeit der Verdünnungsmethode im Rahmen eines festgelegten Versuches zu überprüfen ist, die Tiere unmittelbar im Anschluss an die letzte Blutprobe geschlachtet werden müssen, um einen möglichst präzisen Referenzwert für die Schätzung der Ganzkörperwassermasse zum Zeitpunkt der Blutproben zu erhalten. Beim Vergleich der Literaturangaben zeigt sich denn auch, dass die meisten Autoren so verfahren. Es gibt jedoch auch Ausnahmen. So ließen Houseman et al. (1978) 38 tragende Schafe einen Tag, Cowan et al. (1980) 36 laktierende Schafe 2 bzw. 42 Tage und Odwongo et al. (1984) 4 Kälber und 10 Kühe 11 bis 15 Tage nach der Injektion schlachten. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass es sich fast durchweg um adulte Tiere handelte, bei denen die Körperzusammensetzung relativ konstant ist, im Gegensatz zu der wachsender Tiere. Unter gleichbleibenden Versuchsbedingungen, d. h. insbesondere bei unveränderten Futterrationen, kann daher angenommen werden, dass sich die Wassermasse eines Körpers in diesem Zeitraum nicht wesentlich ändert.

5.1.2.4 Bedeutung von Kopf, Fell und Füßen bei der chemischen Bestimmung des Ganzkörperwassergehaltes

Der Anteil der Fraktion Kopf, Fell und Füße nahm von rund 23 % bei der ersten Tiergruppe auf rund 16 % bei der fünften Tiergruppe ab und betrug im Mittel 18 % (vgl. Abschnitt 4.3.1, Tabelle 6). Bei einem Teil dieser Fraktionen wurde ein durchschnittlicher Wassergehalt von rund 57 % ermittelt. Mithin stellen also Kopf, Fell und Füße einen wesentlichen Teil der Lebermasse und der Ganzkörperwassermasse dar. Auch die Messung der D₂O-Konzentration im Wasser von Kopf, Fell und Füßen belegt mit einem Ergebnis von 930 ppm (Abschnitt 4.4.4), dass diese Teile Bestandteil des Verteilungsraumes sind und daher in die chemische Analyse einbezogen werden müssen, wenn es um den Vergleich der geschätzten mit den analytisch bestimmten Werten geht. Die Unterschätzung des Ganzkörperwassergehaltes durch D₂O in der ersten im Gegensatz zur zweiten Versuchsperiode ist zum Teil durch den technisch bedingten Ausschluss von Kopf, Fell und Füßen zu erklären. Vergleichbare Ergebnisse in der Literatur liegen nicht vor; bei sämtlichen Untersuchungen zur Anwendbarkeit der Verdünnungsmethode wurden die vollständigen Tiere, d. h. einschließlich Kopf, Fell bzw. Haut und Füße geschlachtet und analysiert.

5.2 Einflussfaktoren auf die Schätzung der Leerkörpermasse und deren Zusammensetzung

5.2.1 Schätzung der Chymusmasse und der Chymuswassermasse

Die Schätzung der Chymusmasse und der Chymuswassermasse ist neben der Berechnung des Ganzkörperwassergehaltes anhand der D₂O-Verdünnung eine wesentliche Maßnahme bei der Schätzung der Leerkörperzusammensetzung (vgl. Grafik 3). Eine korrekte Schätzung dieser Bestandteile des Körpers ist maßgeblich für eine ebenso korrekte Schätzung der Leerkörpermasse und der Leerkörperwassermasse. Anhand der Leerkörpermasse und der Leerkörperwassermasse werden im Anschluss daran der Wassergehalt und die Masse des fettfreien Leerkörpers berechnet. Letztere wiederum dient zur Berechnung der Rohfettmasse des Leerkörpers als Differenz zwischen der Leerkörpermasse und der Masse des fettfreien Leerkörpers (vgl. Abschnitt 9.7). Eine fehlerhafte Schätzung der Chymusmasse bzw. der Chymuswassermasse wirkt sich daher mittelbar auf die Genauigkeit der Schätzung der Rohfettmasse im Leerkörper aus. So hat nach eigenen Berechnungen eine Unterschätzung der Chymusmasse

eine Unterschätzung der Rohfettmasse zur Folge, während eine Überschätzung der Chymuswassermasse eine Überschätzung der Rohfettmasse bewirkt. Im Folgenden sollen daher einige Faktoren diskutiert werden, die die Chymusmasse und die Chymuswassermasse und damit auch die Schätzgenauigkeit beeinflussen.

Wie die eigenen Ergebnisse zeigen, sind sowohl die Chymusmasse und die Chymuswassermasse in einem hohen Masse von der Lebendmasse eines Tieres abhängig. So wurden beim Erstellen der entsprechenden Regressionsgleichungen ein Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,939$ für die Chymusmasse und $R^2 = 0,933$ für die Chymuswassermasse ermittelt (Abschnitt 4.3.3). Die Schätzfehler von $RCV = 13,75\%$ bzw. $14,38\%$ zeigen jedoch, dass die Lebendmasse allein die Varianz der abhängigen Variablen nur unzureichend erklären kann. Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen Dunshea et al. (1988), die während einer Untersuchung an 17 laktierenden Ziegen eine lineare Beziehung zwischen der Lebendmasse und der Chymusmasse aufstellten mit einem RCV -Wert von $16,5\%$. Bird et al. (1982) fanden bei Bullen mit einer Lebendmasse von 90 kg bis 517 kg ebenfalls unter Verwendung einer linearen Regressionsgleichung einen Schätzfehler von $RCV = 31,86\%$ für die Trockenmasse im Chymus und $21,60\%$ für die Wassermasse (berechnet von der Verfasserin). Dagegen stellten Reid et al. (1963) anhand von 65 Schafen mit einer Lebendmasse von 20 kg bis 80 kg eine lineare Regressionsgleichung auf, in der die genüchterte Lebendmasse parallel als normale und als logarithmische unabhängige Variable einging. Der Schätzfehler betrug lediglich $4,2\%$.

Die Entwicklung des Vormagensystems beeinflusst wesentlich die Chymusmasse, was sich in einem veränderten Verhältnis zur Lebendmasse niederschlägt (vgl. Abschnitt 4.3.3, Tabelle 13). Dieses Ergebnis wird durch eine Untersuchung von Bailey (1986) an wachsenden Bullen im Gewichtsabschnitt von 60 bis 500 kg LM bestätigt. Die beschriebene Entwicklung ist auf eine höhere Wachstumsrate des Gastro-Intestinaltraktes im Verhältnis zum übrigen Leerkörper zurückzuführen. Daran hat die Entwicklung des Vormagensystems einen wesentlichen Anteil. Bei den im Rahmen der hier vorgestellten Arbeit untersuchten Ziegenlämmern stieg z. B. in der ersten Versuchsperiode der Anteil der Vormagen- an der Gastro-Intestinaltraktmasse von rund 15% bei der ersten Tiergruppe auf rund 41% bei der fünften Tiergruppe, während sich der Anteil der Gastro-Intestinaltrakt- an der Lebendmasse in diesem Zeitraum nur wenig erhöhte. Auch das Laktationsstadium eines Tieres wirkt sich auf die Chymusmasse aus (ARC, 1980). So konnten Odwongo et al. (1984) an Kühen zeigen, dass zu Beginn einer Laktation der Anteil der Chymusmasse an der Lebendmasse höher ist als zu Ende der Laktation.

Neben den tierphysiologischen Faktoren bestimmt das Fütterungsregime maßgeblich die Chymusmasse und die Wassermasse im Chymus. Die Trockenmasse im Chymus hängt von der Trockenmasseaufnahme ab (Bailey, 1986). Auch die Futterstruktur beeinflusst die Chymusmasse. Im Vergleich zu Konzentratfutter führt die Verabreichung von Rauhfutter zu einer Erhöhung der Masse, speziell bei jungen Tieren (ARC, 1980), was mit der unterschiedlichen Verweildauer der Futtermittel im Gastro-Intestinaltrakt zusammenhängt. Aber auch die Wasseraufnahme ist erhöht, wie Garza und Owens (1989) bei Färsen feststellten. Außerdem kann der Anteil der Chymusmasse an der Lebendmasse in Abhängigkeit von der Futterration zwischen 5 % und 25 % schwanken (Williams et al., 1992). Bezüglich der Chymuswassermasse sind Anteile an der Lebendmasse von bis zu 30 % beobachtet worden (Odwongo et al., 1984).

Der Pansen enthält etwa 10 bis 15 % des Körperwassers (Gürtler, 1989). Der Wassergehalt in den Vormägen wird überwiegend durch die Speichelsekretion bestimmt. Diese wiederum ist vom Umfang der Futteraufnahme, dem Wasser- und Rohfasergehalt der Futtermittel und deren physikalischen Beschaffenheit abhängig.

Eine Nüchterung bewirkt eine Verringerung der Chymusmasse und der Wassermasse im Chymus (vgl. Abschnitt 5.1.2.1). Darüber hinaus ergaben eigene Berechnungen, dass eine Verlängerung der Nüchterungsdauer von 14 auf 42 Stunden einen signifikanten Einfluss auf die Chymusmasse hat (vgl. Abschnitt 4.3.3). Um jedoch den Effekt bei Ziegenlämmern zu quantifizieren, sind Versuche mit Kontrollgruppen ohne Nüchterung erforderlich. Vergleichbare Angaben liegen nicht vor.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Chymusmasse und die Chymuswassermasse abhängig sind von:

- der Lebendmasse,
- dem physiologischen Status (z. B. Entwicklung zum Wiederkäuer, Laktation)
- der Trockenmasse- bzw. Wasseraufnahme in Abhängigkeit von der Zusammenstellung der Futterration, insbesondere vom Anteil an Rauh- oder Konzentratfutter, und
- der Nüchterungsdauer.

In der Literatur werden verschiedene Modelle zur Schätzung der Chymusmasse und der Chymuswassermasse vorgeschlagen. So entwickelten Dunshea et al. (1988) an zwei Gruppen laktierender Ziegen, die Rationen mit unterschiedlichen Gehalten an Luzernehäcksel und Hafer erhielten, eine lineare Schätzgleichung mit der Trockenmasseaufnahme als einzige erklärende Variable. Der Schätzfehler fiel mit $RCV = 17,2 \%$ jedoch recht hoch aus. Bailey (1986) schließt aus seiner Untersuchung, dass eine präzise Schätzung der Chymusmasse anhand der Trockenmasseaufnahme möglich sein müsste, wenn bekannt wäre, wie sich Unterschiede in der Futteraufnahme und der Futterration sowie beim zeitlichen Abstand zur letzten Fütterung auf die Chymusmasse auswirkten. Cowan et al. (1980) fütterten laktierende Schafe mit zwei Rationen, die unterschiedliche Anteile gemahlenen Heus enthielten, und stellten eine Schätzgleichung mit der Trockenmasseaufnahme pro Tag, der Unverdaulichkeit der Trockensubstanz und der mittleren Verweildauer als erklärende Variablen auf, um die Chymusmasse zu schätzen. Der aus den Literaturangaben berechnete Schätzfehler von $RCV = 11,85 \%$ war geringer als der, den Dunshea et al. (1988) fanden. Dagegen zeigte sich in einer anderen Untersuchung an Schafen, dass die Einbeziehung der Trockenmasseaufnahme oder des Rationstyps keine weitere Reduzierung des Schätzfehlers bewirkte (Reid et al., 1963). Hierbei ist zu beachten, dass die von diesen Autoren entwickelte Regressionsgleichung mit der Lebendmasse als unabhängige Variable die Variabilität der Chymusmasse bereits zu einem sehr hohen Maß erklären konnte (siehe S. 101).

Bei einem Versuch an Kälbern und Kühen wurde die Chymuswassermasse anhand des Wasserumsatzes in einer Exponential-Regressionsgleichung geschätzt, mit einem aus den Angaben berechneten Schätzfehler von $RCV = 4,63 \%$ (Odwongo et al., 1984). Die Autoren erklären dieses Ergebnis dadurch, dass die Speichelsekretion, die Futter- und Wasseraufnahme und die Passage durch den Gastro-Intestinaltrakt in Beziehung zum Wasserumsatz stehen. Die Bestimmung des Wasserumsatzes umschließt die Erfassung der Wasseraufnahme über Futter und Tränkwasser, der Ausscheidung von Wasser über Kot und Harn und der Verdunstung von Wasser über Haut und Lungen. Letztere muss in Stoffwechselkammern erfolgen und erfordert daher eine entsprechende apparative Ausstattung.

Im Rahmen einer Untersuchung an Rindern fanden Beranger und Robelin (1978) eine hohe Korrelation zwischen der Masse des Panseninhalts und der übrigen Chymusmasse ($r = 0,65$). Robelin (1977) stellte bei 20 Lämmern fest, dass die Wassermasse im Pansen eng korreliert mit der gesamten Chymuswassermasse ($r = 0,96$). Hieraus lässt sich folgern, dass man die

Chymusmasse bzw. die Chymuswassermasse schätzen könnte, sofern die Masse bzw. Wassermasse im Pansen bekannt wäre. Die Messung der Wassermasse des Panseninhalts ist eine standardisierte Methode, die vielfach durchgeführt wird, um die Kinetik innerhalb des Gastro-Intestinaltraktes zu studieren (Owens und Hanson, 1992). Hierzu wird ein Marker, z. B. CrEDTA, direkt per Kanüle in den Pansen gegeben. Die Konzentration des Markers in den Proben, die über einen Zeitraum von einigen Stunden aus dem Pansen entnommen werden, geben Aufschluss über die Wassermasse im Pansen. Dunshea et al. (1988) wendeten diese Methode bei laktierenden Ziegen an und schätzten die Chymusmasse bzw. die Chymuswassermasse anhand der mittels CrEDTA geschätzten Pansenwassermasse in einer linearen Gleichung. Die RCV-Werte betrugen 15,1 % bzw. 11,3 %. Daraus folgt, dass die Schätzung der Chymusmasse bzw. der –wassermasse auf diesem Weg etwa so genau ist wie eine Schätzung anhand der Lebendmasse allein, wie die zu Beginn dieses Abschnittes angeführten Beispiele zeigen. Allerdings ist die beschriebene Vorgehensweise mit einem höheren Aufwand verbunden. Darüber hinaus ist nichts über ihre praktische Durchführbarkeit bei kleinen Lämmern bekannt.

Einen anderen Ansatz wählten Williams et al. (1992). Sie errechneten einen Faktor, der den Anteil der Chymusmasse an der Lebendmasse darstellt, korrigiert um die physikalische Struktur des Rauhfutters, den Anteil an NDF im Rauhfutter (= Gesamtheit der Zellwandbestandteile) und den Konzentratfutteranteil an der Ration, wobei sie verschiedene Literaturdaten von Untersuchungen an insgesamt 64 Rindern auswerteten. Die Leerkörpermasse konnte dann als Differenz zwischen der Lebendmasse und der mit dem genannten Faktor multiplizierten Lebendmasse geschätzt werden. Eine lineare Regression der gemessenen auf die geschätzten Leerkörpermassen ergab einen anhand der Angaben berechneten Schätzfehler von $RCV = 5,32 \%$. Vom ARC (1980) wurde ein Modell vorgeschlagen, das ebenfalls direkt die Leerkörpermasse schätzt; jedoch wird hierbei die Lebendmasse mit einem Faktor multipliziert, der das Verhältnis der Chymusmasse zur Leerkörpermasse-Zunahme beschreibt. Vom Resultat ist anschließend ein bestimmter Wert in Abhängigkeit von der Rationsgestaltung (Rauh-, Konzentratfutter) zu subtrahieren. Williams et al. (1992) überprüften die Anwendbarkeit dieses Modells an Rindern und fanden einen anhand der Angaben berechneten Schätzfehler von $RCV = 10,33 \%$. Dieser Wert ist deutlich höher als der Wert von $5,32 \%$, den die Autoren mit ihrem eigenen Modell ermittelten. Sie zitieren eine Arbeit von Waldo und Smith (1987), wonach bei Rindern der NDF-Gehalt des Rauhfutters die Füllung des Gastro-Intestinaltraktes am stärksten beeinflusst. Daraus kann geschlossen werden, dass der gegenüber

dem ARC-Modell geringere Schätzfehler u. a. auf die Korrektur um den NDF-Gehalt zurückzuführen ist. Eine Vergleichbarkeit dieses Ansatzes mit den vorherigen Modellen ist nicht gegeben, da hier nicht direkt die Chymusmasse bzw. Chymuswassermasse geschätzt wird. Eine zum Ansatz von Williams et al. (1992) analoge Berechnung eines Faktors anhand der vorgestellten Ergebnisse bei Ziegenlämmern ist nicht möglich, da z. B. keine vergleichenden Untersuchungen über die Chymusmassen in Abhängigkeit der physikalischen Struktur des Futters vorliegen.

Als Fazit der Literaturoswertung über verschiedene Modelle zur Schätzung der Chymusmasse und der Chymuswassermasse im Vergleich zu den eigenen Ergebnissen lässt sich ableiten, dass unter Berücksichtigung der Faktoren wie Trockenmasseaufnahme, Charakteristika der Futtermittel und Rationsgestaltung eine höhere Schätzgenauigkeit erzielt werden könnte. Auffällig ist, dass bei keiner Literaturstelle die Nüchterung als Faktor angegeben wurde. Dies ist nur dadurch zu erklären, dass bei den in diesem Abschnitt zitierten Untersuchungen keine Nüchterung durchgeführt wurde, mithin ein Effekt nicht festgestellt werden konnte. Aufgrund der bereits dargelegten Ergebnisse ist jedoch nicht auszuschließen, dass, sofern die Tiere vor der Injektion des Markers unterschiedlich lange genüchtert werden, dieser Umstand einen signifikanten Einfluss auf die Genauigkeit der Schätzung der Chymusmasse und der Chymuswassermasse hat. Für diesen Fall müsste die Nüchterungsdauer ebenfalls als erklärende Variable in die Regressionsgleichung aufgenommen werden.

Bei den hier vorgestellten Versuchen an Ziegenlämmern wurde die Futterration für alle Tiere einheitlich gestaltet. Das Einbeziehen der durchschnittlichen täglichen Trockenmasseaufnahme als zusätzliche Variable in die Regressionsgleichung von der Lebendmasse auf die Chymusmasse führte zu einer Verringerung des Schätzfehlers von $RCV = 13,75\%$ auf $10,55\%$. Diese nur leichte Verbesserung ist durch eine hohe Korrelation der Trockenmasseaufnahme mit der Lebendmasse bedingt. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass die Erfassung der Strohaufnahme erst nach dem Absetzen der Tiere, d. h. ab der vierten Tiergruppe, erfolgen konnte. Beim Schlachten der Tiere der zweiten und der dritten Gruppe fiel jedoch auf, dass die Vormägen bereits beachtliche Massen Stroh enthielten. Man kann daher vermuten, dass die Variabilität des Anteils der Chymusmasse an der Lebendmasse (vgl. Abschnitt 4.3.3, Tabelle 13) auch auf eine unterschiedliche Strohaufnahme zurückzuführen ist und bei genauer Kenntnis diese als zusätzliche Variable neben der Lebendmasse in der Regressionsgleichung zu einer genaueren Schätzung der Chymusmasse führen könnte. Analog gilt dies

auch für die Schätzung der Chymuswassermasse, da, wie bereits erläutert, eine Rauhfutteraufnahme mit einer erhöhten Speichelproduktion verbunden ist und somit die Variabilität der Chymuswassermasse zu erklären ist. Eine weitere, offensichtlich erfolgreiche Möglichkeit zur Erhöhung der Schätzgenauigkeit stellt die Messung des Wasserumsatzes dar. Diese Vorgehensweise ist jedoch mit einem nicht unerheblichen apparativen Aufwand verbunden.

5.2.2 Einflussfaktoren bei der Zusammensetzung der Leerkörpermasse

Die bisher veröffentlichten Untersuchungen an Wiederkäuern beziehen sich überwiegend auf Rinder und Schafe und handeln meist von den Einflussfaktoren auf die Zusammensetzung der *fetthaltigen* Leerkörpermasse. Daher soll zunächst diskutiert werden, ob ein Analogieschluss von der Zusammensetzung der fetthaltigen auf die fettfreie Leerkörpermasse bzw. von Schafen auf Ziegen zulässig ist.

Die Ergebnisse der eigenen Untersuchungen haben eine sehr enge Korrelation zwischen der fetthaltigen und der fettfreien Leerkörpermasse ergeben (vgl. Abschnitt. 4.3.2, Tabelle 10). Auch die Beziehung zwischen den Bestandteilen der fetthaltigen bzw. fettfreien Leerkörpermasse ist als eng einzustufen. Daraus könnte man ableiten, dass eine Änderung der Zusammensetzung der fetthaltigen Leerkörpermasse sich analog in einer veränderten Zusammensetzung der fettfreien Leerkörpermasse widerspiegelt. Aus diesem Grund werden im Folgenden auch solche Literaturarbeiten berücksichtigt, deren Angaben sich auf die fetthaltige Leerkörpermasse beziehen.

Vergleichende Ausschlachtungsergebnisse von Ziegen- und Schaflämmern liegen kaum vor. Benjamin et al. (1993) schlachteten Schafe und Ziegen mit einer mittleren Lebendmasse von 34 kg bzw. 33 kg. Der Wasser-, Protein- und Aschegehalt der Ziegenleerkörper war höher als der der Schafe, deren Leerkörper dafür deutlich mehr Fett enthielten. Bezogen auf die fettfreie Leerkörpermasse ergab sich ein anderes Bild. Hier war die Zusammensetzung nahezu identisch. Dies deutet darauf hin, dass möglicherweise nur geringe tierartspezifische Unterschiede bei der Zusammensetzung der fettfreien Leerkörpermasse vorliegen und ein Rückschluss von den Ergebnissen bei Schafen auf Ziegen zumindest als Hinweis erlaubt ist.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung ergaben die chemischen Analysen der Ziegenkörper, dass sich die Zusammensetzung der *fettfreien* Leerkörpermasse im Laufe des Wachstums ändert (vgl. Abschnitt 4.3.2), wobei die stärkste Änderung bei den Tieren der ersten bis

zweiten Gruppe auftrat. Im Folgenden sollen einige Faktoren betrachtet werden, die für diese Entwicklung verantwortlich sein könnten.

5.2.2.1 Körpermasse

Die Zusammensetzung der fettfreien Leerkörpermasse ist vor allem von deren Masse abhängig. Dies ist das Ergebnis der hier vorgestellten Untersuchung (vgl. Abschnitt 4.3.2). Danach erklärt die Leerkörpermasse z. B. in der zweiten Versuchsperiode, wie anhand der Bestimmtheitsmaße zu sehen ist, zu rund 61 % bis 78 % die Variabilität der Leerkörperzusammensetzung. Bezogen auf die Zusammensetzung der fetthaltigen Masse ergaben sich Bestimmtheitsmaße von 54 % bis 56 % für den Wasser-, Rohprotein- bzw. Rohaschegehalt. Da in der Literatur die *Massen* der Bestandteile geschätzt wurden, erfolgte eine analoge Berechnung anhand der eigenen Daten, wobei für die Wasser-, Rohprotein- und Rohaschemasse Bestimmtheitsmaße von 99 % errechnet wurden. Reid et al. (1968) werteten Schlachtdaten von männlichen, kastrierten Schafen vier verschiedener Rassen mit einer Leerkörpermasse von 12 kg bis 64 kg aus und errechneten für die Zusammensetzung der fetthaltigen Leerkörpermasse in Abhängigkeit von der Masse Bestimmtheitsmaße zwischen 89 % und 93 %, bezogen auf die Massen der Bestandteile. Ähnliche Ergebnisse erzielten Norton et al. (1970) an Schafklämmern mit einer Leerkörpermasse von 3 kg bis 15 kg. Hier schwankten die Bestimmtheitsmaße für die Zusammensetzung der fetthaltigen Leerkörpermasse zwischen 66 % und 98 %. Keine der beiden Autorengruppen macht Angaben zum Einfluss der Leerkörpermasse auf die *Gehalte* der Zusammensetzung. Aufgrund der eigenen Ergebnisse ist jedoch davon auszugehen, dass deren Bestimmtheitsmaße in einer ähnlichen Größenordnung lagen wie die oben angeführten Werte von 54 % bis 56 %.

5.2.2.2 Wachstumsintensität

Die in der Literatur veröffentlichten Untersuchungen zum Einfluss der Wachstumsintensität auf die Leerkörperzusammensetzung sind durch widersprüchliche Aussagen gekennzeichnet, wie einer Auswertung des ARC (1980) zu entnehmen ist. Darin werden verschiedene Arbeiten an Schaflämmern angeführt, wonach mit steigender Wachstumsrate der Fettgehalt des Zuwachses zu- und der Proteingehalt abnahm (Norton et al., 1970; Searle et al., 1972; zitiert in ARC, 1980). Es wurden jedoch auch gegenteilige Effekte beobachtet (Andrews und Orskov, 1970; zitiert in ARC, 1980). Andere Untersuchungen an Schaflämmern ergaben dagegen keinen signifikanten Einfluss der Wachstumsrate auf die Leerkörperzusammensetzung

(Burton und Reid, 1969; Searle und Graham, 1972; zitiert in ARC, 1980). Dies deckt sich mit den Ergebnissen der varianzanalytischen Untersuchung der eigenen Daten, die an Ziegenlämmern erhoben worden sind (vgl. Abschnitt 4.3.2). Hiernach hatte die Wachstumsrate keinen signifikanten Einfluss auf die Zusammensetzung der fetthaltigen oder fettfreien Leerkörpermasse.

Es muss an dieser Stelle betont werden, dass die Wachstumsrate selbst durch das Geschlecht, die Energie- bzw. Proteinzufuhr und die Rasse beeinflusst wird. Harricharan et al. (1987) untersuchten über fünf Jahre hinweg vier verschiedene Ziegenrassen, um u. a. den Einfluss der Rasse und des Geschlechtes auf die Wachstumsrate zu analysieren. Die Ergebnisse zeigten nicht nur wesentliche rassebedingte Unterschiede, sondern auch, dass die Bocklämmer signifikant schneller wuchsen als die weiblichen Tiere. Diese Resultate werden von Warmington und Kirton (1990) in ihrem Übersichtsartikel zu verschiedenen Einflüssen auf das Wachstum von Ziegen bestätigt. Die Autoren führen darüber hinaus an, dass die Wachstumsrate in einem hohen Maß von der Höhe der Milchaufnahme abhängt, wohingegen nach dem Absetzen neben dem Energiegehalt die Zusammensetzung der Ration eine wesentliche Rolle bei der Wachstumsintensität spielt.

Zusammengefasst unterliegt die Wachstumsrate verschiedenen Faktoren wie Fütterungsintensität, Geschlecht und Rasse. Diese wiederum können, wie die folgenden Abschnitte zeigen, die Leerkörperzusammensetzung beeinflussen. Die Vielzahl möglicher Kombinationen der genannten Faktoren und die Wechselwirkung zwischen ihnen könnte eine Erklärung für die unterschiedlichen Ergebnisse in der Literatur bei der Überprüfung des Einflusses der Wachstumsrate auf die Leerkörperzusammensetzung liefern, zumal in diesen genannten Arbeiten überwiegend der Einfluss unterschiedlicher Energie- bzw. Rohproteinaufnahme auf die Leerkörperzusammensetzung überprüft wurde. Folglich ist es sehr schwierig, den Effekt der Wachstumsrate unabhängig von den Faktoren Fütterungsintensität, Geschlecht und Rasse zu betrachten.

5.2.2.3 Fütterungsintensität

Um den Einfluss der Energiezufuhr auf die Leerkörperzusammensetzung von Ziegenlämmern im Alter von null bis 30 Tagen und einer Leerkörpermasse von rund 2 kg bis rund 7 kg zu untersuchen, verabreichten Sanz Sampelayo et al. (1990) einer Gruppe dieser Tiere Ziegen-

milch zur freien Aufnahme, was einer Energieaufnahme für die Deckung des 2,4fachen Erhaltungsbedarfs entsprach; die zweite Gruppe wurde restriktiv entsprechend des 1,9fachen Erhaltungsbedarfs mit Milch gefüttert. Das Ergebnis war, dass die unterschiedliche Energiezufuhr keinen signifikanten Effekt auf die Leerkörperzusammensetzung bei vergleichbarer Leerkörpermasse hatte, obwohl die Daten der chemischen Analyse einen höheren Fettgehalt bei den Tieren zeigte, die auf dem hohen Energieniveau gefüttert worden waren. Die Leerkörperzusammensetzung war dagegen in einem hohen Maß von der Leerkörpermasse abhängig. Im übrigen beeinflusste die Energiezufuhr die Wachstumsrate.

Zum gleichen Ergebnis kommen Theriez et al. (1982). Die Autoren teilten zwei Gruppen verschiedener Kreuzungsschaf-Rassen in fünf Untergruppen auf. Diese bestanden entweder aus männlichen oder weiblichen Tieren mit einer Lebendmasse zwischen 17 kg und 22 kg zu Beginn des Experimentes. Die Fütterung war nach Gruppen differenziert, wobei Rationen aus Luzerneheu und Mais mit unterschiedlichen Energiekonzentrationen (9,4 bis 13,2 MJ ME/kg Trockenmasse) und einem Rohproteingehalt von 15 % bis 20 % ad libitum bzw. restriktiv verabreicht wurden. Hierdurch lag die Energieaufnahme bei 0,8 MJ ME bis 1,1 MJ ME pro kg LM^{0,75}, was dem 1,8fachen bis 2,4fachen Erhaltungsbedarf entspricht (berechnet anhand der Literaturangaben). Die Schlachtung der Tiere erfolgte bei einer Lebendmasse von 33 kg bis 36 kg. Die chemische Analyse der Leerkörper ergab keinen signifikanten Einfluss der Energiekonzentration oder der Energieaufnahme auf die Leerkörperzusammensetzung. Ein positiver Zusammenhang wurde dagegen zwischen der Energiekonzentration bzw. der Energieaufnahme und der Wachstumsrate beobachtet.

Auch die Untersuchung von Burton und Reid (1969) erbrachte das gleiche Resultat. Die Autoren verglichen die Leerkörperzusammensetzung von männlichen, kastrierten Schaflämmern, die in zwei Gruppen aufgeteilt waren und identisches Konzentratfutter in unterschiedlichen Massen erhielten, so dass die Energieaufnahme entweder 278 kcal oder 421 kcal pro kg Leerkörpermasse^{0,75} betrug. Die Tiere waren zu Beginn des Experimentes 17 kg bis 26 kg schwer; die Schlachtung erfolgte bei jeweils identischen Lebendmassen zwischen 27 kg bis 65 kg. Zwischen den Tiergruppen konnten keine signifikanten Unterschiede bei der Leerkörperzusammensetzung gesichert werden.

Eine mögliche Erklärung für die von Sanz Sampelayo et al. (1990), Theriez et al. (1982) und Burton und Reid (1969) vorgelegten Ergebnisse ist, dass der Effekt der Energiezufuhr auf die

Zusammensetzung des Leerkörpers u. a. von der Lebendmasse abhängt (Black, 1974). Denkbar ist auch, dass die Unterschiede in der Energiezufuhr nicht ausreichen, um einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Leerkörperzusammensetzung zu erzielen.

Eine Änderung der Energieaufnahme kann bei niedrigen Körpermassen eine erhebliche Veränderung des Fettgehaltes bewirken. So lautet das Ergebnis einer Untersuchung an männlichen Kreuzungslämmern mit 3 kg bis 35 kg Lebendmasse (Black, 1974). Diese Schlussfolgerung steht in scheinbarem Widerspruch zu den Resultaten der im voranstehenden Absatz angeführten Autoren. Entscheidend hierbei dürfte sein, wie weit die Energieaufnahme den Energiebedarf deckt oder ihn überschreitet. So fanden Ash und Norton (1987) in einer Untersuchung an zwei Gruppen von Ziegenlämmern mit einem Anfangsgewicht von 12 kg, die entweder ad libitum oder restriktiv (75 % ad libitum) gefüttert und mit 22 kg Lebendmasse geschlachtet wurden, einen signifikant höheren Fettgehalt bei der unbeschränkten Energieaufnahme, jedoch keinen Einfluss auf den Protein- oder Aschegehalt des Leerkörpers. Bei sehr jungen Tieren, die noch nicht als Wiederkäuer anzusprechen sind, liegen die Verhältnisse dagegen anders. Walker (1986) zitiert in seinem Übersichtsartikel zur Körperzusammensetzung von Tieren während und nach der Säugezeit eine Arbeit von Fowler (1974), der feststellte, dass die freie Futteraufnahme bis zur Entwicklung zum Wiederkäuer relativ gering ist und daher kaum die Möglichkeit besteht, überschüssige Energie in Fett umzuwandeln. Auch Searle und Griffiths (1976) kommen in ihrer Untersuchung an Schaflämmern mit einer Lebendmasse von 15 kg bis 40 kg zu dem Schluss, dass der Fettgehalt von Schaflämmern in einem starken Maß von der Fütterung und dem physiologischen Status abhängig ist. Zusammengefasst bedeuten diese Ausführungen, dass die Energiezufuhr den Fettgehalt des Leerkörpers beeinflussen kann, sofern ein bestimmtes Niveau überschritten wird, was entscheidend von der Höhe der freien Futteraufnahme abhängt. Letztere ist bei sehr jungen Wiederkäuern wegen des noch nicht entwickelten Vormagensystems eher begrenzt.

Von wesentlicher Bedeutung für die Leerkörperzusammensetzung ist nicht nur die Energieaufnahme, sondern auch deren Verhältnis zum Rohproteingehalt der Ration. Pfeffer und Keunecke (1986) berichten über die Ergebnisse der Ganzkörperanalysen von männlichen kastrierten und weiblichen Ziegenlämmern, die in acht Gruppen aufgeteilt waren. Bis zum Absetzen bei etwa 12 kg Lebendmasse erhielten alle Tiere Muttermilch zur freien Aufnahme bis zu einem Liter täglich und ab 8 kg Lebendmasse zusätzlich Konzentratfutter. Zwei der acht Gruppen erhielten bis zu einer Lebendmasse von 23 kg 60 g, zwei weitere 90 g Konzentratfutter pro kg LM^{0,75}. Diese Energiezufuhr entsprach dem 1,5fachen bzw. 2,4fachen des Er-

haltungsbedarfs (berechnet anhand der Literaturangaben). Außerdem wurde die Zusammensetzung des Konzentratfutters variiert, das entweder 16 % oder 20 % Rohprotein bei nahezu unveränderter Energiekonzentration (berechnet anhand der Literaturangaben) enthielt. Ab einer Lebendmasse von 31 kg wurden die Tiere der vier Tiergruppen einheitlich auf dem höheren Energieniveau bis zu Schlachtung bei 40 kg gefüttert. Die chemische Analyse der Tierkörper ergab keinen Einfluss der verschiedenen Energieniveaus bis 23 kg LM auf die Leerkörperzusammensetzung bei vergleichbarer Masse. Hieraus ist zu schließen, dass sich auch der unterschiedliche Rohproteingehalt der Futtermischung nicht signifikant auswirkte.

Norton et al. (1970) untersuchten den Effekt unterschiedlicher Protein- und Energiekonzentrationen in der Milch bei männlichen Kreuzungs-Schafvlämmern mit einer Lebendmasse von 3 kg bis rund 8 kg zu Versuchsbeginn, die sie in drei Gruppen aufteilten. Die verfütterte Milch enthielt 1,8 % Rohprotein mit 99 kcal, 4,3 % oder 6,8 % Rohprotein mit jeweils 83 kcal. Innerhalb jeder Tiergruppe wurde zusätzlich die Futteraufnahme variiert; sie reichte von unterhalb des Erhaltungsbedarfs bis ad libitum. Nach drei Wochen wurden die Tiere geschlachtet. Innerhalb der verschiedenen Milchtypen gab es keinen signifikanten Einfluss der Energieaufnahme auf die Zusammensetzung der fettfreien Leerkörpermasse. Dagegen war, bezogen auf eine identische Leerkörpermasse, der Rohproteingehalt des fettfreien Leerkörpers nach der Verfütterung von Milch mit 6,8 % Rohprotein signifikant höher als bei der Milch mit 1,8 % Rohprotein.

Ein ähnliches Experiment führten Orskov et al. (1976) an männlichen Kreuzungs-Schafvlämmern mit einer Lebendmasse von 13 kg bis 16 kg durch. Die Tiere wurden in zwei Gruppen eingeteilt und ad libitum mit Rationen gefüttert, die aus unterschiedlichen Anteilen Gerste, Harnstoff bzw. Fischmehl bestanden und entweder 12 % oder 20 % Rohprotein in der Trockenmasse enthielten. Der Artikel enthält keine Angaben zur jeweiligen Energiekonzentration im Futter; nach eigenen Berechnungen dürfte kein wesentlicher Unterschied vorgelegen haben. Die Schlachtung wurde bei drei verschiedenen Lebendmassen von 20 kg bis 75 kg vorgenommen. Bei vergleichbarer Leerkörpermasse enthielt der Leerkörper der Tiere, deren Ration eine niedrige Rohproteinkonzentration aufwies, mehr Fett und weniger Wasser. Auch der umgekehrte Fall einer steigenden Energieaufnahme bei ausreichender Rohproteinzufuhr bewirkt einen höheren Fettgehalt (Black, 1974). Dagegen führt eine hohe Rohproteinzufuhr bei niedriger Energieversorgung zu einem Abbau von Fett (Walker, 1986).

Die in diesem Abschnitt dargestellten Ergebnisse verdeutlichen, dass die Leerkörperzusammensetzung, speziell der Fettgehalt, durch die Fütterung beeinflusst werden kann. Hierbei sind Faktoren wie die Höhe der freien Futteraufnahme, das Verhältnis von Energie zu Rohprotein im Futter und der Grad der Bedarfsdeckung von entscheidender Bedeutung.

Bezogen auf die Zusammensetzung der *fettfreien* Leerkörpermasse gibt es widersprüchliche Aussagen. Während Norton et al. (1970) diesbezüglich einen Effekt durch eine höhere Rohproteinzufuhr fand, stellten Searle und Griffiths (1983) in einer Auswertung mehrerer unterschiedlicher Experimente an Schaflämmern mit einer Leerkörpermasse von 4 kg bis 41 kg fest, dass sich zwar die *fettfreie* Leerkörperzusammensetzung bei Schafen im Laufe des Wachstums verändert, diese jedoch keinen Fütterungseinflüssen unterliegt. Bei der Analyse einiger dieser Experimente (Searle, 1970a und b) zeigte sich, dass die Rationen einen Rohproteingehalt von 14 % bis 23 % enthielten und entweder restriktiv oder ad libitum verabreicht wurden. Durch die Verabreichung von Futterrationen mit verschiedenen Energie- und Rohproteingehalten (11 % bis 21 %) ergaben sich ebenfalls keine signifikanten Unterschiede in der *fettfreien* Leerkörperzusammensetzung (Ash und Norton, 1987). Der Rohproteingehalt der Milch im Experiment von Norton et al. (1970) dagegen betrug zwischen 1,8 und 6,8 %. Damit war der Unterschied beim Rohproteingehalt der Ration relativ stärker als bei den Untersuchungen von Searle und Griffiths (1983) bzw. Ash und Norton (1987), was eine mögliche Erklärung für die entgegengesetzten Aussagen zum Einfluss der Fütterung auf die Zusammensetzung der *fettfreien* Leerkörpermasse sein könnte.

5.2.2.4 Zeitpunkt des Absetzens

Neben der Fütterungsintensität ist auch der Zeitpunkt des Absetzens von der Milch von Bedeutung für die Leerkörperzusammensetzung, speziell für den Fettgehalt. Searle und Griffiths (1976) verglichen männliche Schafe, die entweder bis 9 kg oder bis 33 kg Lebendmasse ausschließlich mit Milch ernährt worden waren und stellten fest, dass das späte Absetzen zu einer höheren Fettmasse im Leerkörper führte. Bezogen auf eine identische Lebendmasse von 30 kg betrug der Unterschied 5 kg Fett. Bas et al. (1991) setzten in einem Versuch Ziegenlämmer entweder nach vier oder nach 6 bis 8 Wochen ab. Die Schlachtung der Tiere, die zwei oder acht Wochen später vorgenommen wurde, zeigte ebenfalls Unterschiede im Leerkörperfettgehalt. Ob auch die fettfreie Leerkörperzusammensetzung durch die unterschiedlichen Absetztermine beeinflusst wurde, konnte den Arbeiten nicht entnommen werden.

5.2.2.5 Fettgehalt des Leerkörpers

Es besteht kein Einfluss unterschiedlicher Futterrationen auf die Zusammensetzung der fettfreien Leerkörpermasse, wohl aber auf den Fettgehalt des Leerkörpers (Searle und Griffiths, 1983; Ash und Norton, 1987). Daraus kann geschlossen werden, dass wahrscheinlich kein Zusammenhang zwischen der Höhe des Fettgehaltes und der Zusammensetzung des fettfreien Leerkörpers besteht. Diese Aussage stimmt überein mit der Feststellung von Moulton (1923), wonach der Fettgehalt eines Tieres keinen Einfluss auf die fettfreie Leerkörperzusammensetzung hat. Der Fettgehalt variiert also unabhängig von der fettfreien Leerkörpermasse (Sheng und Huggings, 1979). Eine Beurteilung dieses Zusammenhanges bei Ziegenlämmern erfordert jedoch weitere Untersuchungen, wobei Tiere mit sehr unterschiedlichem Fettgehalt auf der Basis einer identischen Leerkörpermasse zu vergleichen sind.

5.2.2.6 Geschlecht

Das Geschlecht kann die Leerkörperzusammensetzung beeinflussen. Entscheidend hierfür ist, ob sich die Tiere zum Zeitpunkt des Experiments in der Pubertät befinden, da dann die unterschiedliche Wirkung der Geschlechtshormone Östrogen und Testosteron auf den Protein- und Fettstoffwechsel voll zum Tragen kommt. Doney et al. (1982) schreiben, dass, in Abhängigkeit von der Frühreife der Rasse, dem Management, der Fütterung und dem Geburtszeitpunkt, die Pubertät normalerweise im Alter von vier bis sechs Monaten eintritt. Die Ziegenlämmer der hier vorgestellten Untersuchung erreichten ein Alter von maximal 114 Tagen; ein Einfluss des Geschlechtes ist daher eventuell bei der Tiergruppe 5 denkbar, aber wegen der geringen Tierzahl statistisch nicht abzusichern. Searle und Griffiths (1976) fanden, dass männliche und weibliche Schafe unterhalb einer Lebendmasse von 14 kg keine Unterschiede im Fettgehalt aufwiesen. In einer weiteren Arbeit an Schaflämmern ermittelten Searle et al. (1988) signifikante geschlechtsbedingte Unterschiede im Fettgehalt. Die dort untersuchten Tiere wogen zu Versuchsbeginn 15 kg und zu Versuchsende 55 kg. Theriez et al. (1982) verwendeten für ihren Fütterungsversuch Schaflämmer, die anfangs 17 kg bis 22 kg und bei der Schlachtung 33 kg bis 36 kg wogen. Hier enthielten die Schlachtkörper der weiblichen Tiere mehr Fett und weniger Magerfleisch bzw. Knochen. Auch beim Versuch von Ash und Norton (1987) waren die weiblichen Lämmer fetter als die männlichen Tiere; ihre Leerkörper enthielten ebenfalls weniger Wasser und Protein. Die fettfreie Leerkörperzusammensetzung war dagegen nicht signifikant verschieden. Diese Tiere waren zu Versuchsbeginn vier Monate alt und hatten eine Lebendmasse von 12 kg; sie wurden bei 22 kg LM geschlachtet. Aus den Ergebnissen lässt

sich ableiten, dass ab einer bestimmten Körpermasse bzw. Altersstufe mit einem Einfluss des Geschlechtes auf die Leerkörperzusammensetzung, speziell auf den Fettgehalt, zu rechnen ist, wobei die Lebendmasse eine größere Bedeutung als das Alter hat. Die *fettfreie* Leerkörperzusammensetzung scheint jedoch unabhängig vom Geschlecht zu sein. Ob diese Aussagen auch bei Ziegenlämmern gelten, muss in entsprechenden Versuchen ermittelt werden.

5.2.2.7 Rasse

Rassenspezifische Einflüsse auf die Leerkörperzusammensetzung werden von Theriez et al. (1982) und Searle und Graham (1972) berichtet, wobei sich die jeweils untersuchten Rassen im Fettgehalt unterschieden. Die Tiere in diesen Untersuchungen wogen 17 kg bis 36 kg bzw. 17 kg bis 45 kg. In einer anderen Arbeit von Searle et al. (1988) wurden keine durch die Rasse bedingten Unterschiede unterhalb von rund 23 kg bis 26 kg Lebendmasse festgestellt; oberhalb dieser Massen war der Fettgehalt der Leerkörper signifikant verschieden. Im Gegensatz hierzu fanden Searle und Griffiths (1983) in ihrer Auswertung mehrerer Experimente keinen Einfluss der Rassen auf die Leerkörperzusammensetzung. Eine mögliche Erklärung liegt darin, dass die dort verglichenen Tiere zum überwiegenden Teil aus einem identischen Kreuzungsschema entstammten und daher einen ähnlichen Genotyp aufwiesen. Ob sich die Rassenunterschiede in den beschriebenen Untersuchungen auch auf die *fettfreie* Leerkörperzusammensetzung auswirkten, konnte nicht ermittelt werden.

Als Fazit der Ausführungen in diesem Abschnitt lässt sich festhalten, dass die Zusammensetzung der *fettfreien* Leerkörpermasse im hohen Maß von der Leerkörpermasse abhängt. Alle weiteren genannten Faktoren wie die Fütterungsintensität, der Zeitpunkt des Absetzens von der Milch, das Geschlecht und die Rasse wirken sich dagegen vor allem auf den Fettgehalt aus. Da letzterer in keinem Zusammenhang mit der Zusammensetzung der *fettfreien* Leerkörpermasse zu stehen scheint, kann ein Einfluss der genannten Faktoren wahrscheinlich ausgeschlossen werden. Jedoch müssen weitergehende Untersuchungen erfolgen, um die Gültigkeit dieser Schlussfolgerung bei Ziegenlämmern zu überprüfen. Die Ergebnisse von Ash und Norton (1987) weisen darüber hinaus darauf hin, dass von der Zusammensetzung der *fetthaltigen* Leerkörpermasse nicht unmittelbar auf die der *fettfreien* Leerkörpermasse geschlossen werden kann, da sich die in diesem Abschnitt diskutierten Faktoren nicht im gleichen Maß auf die Zusammensetzung der jeweils betrachteten Leerkörpermasse (*fetthaltig/fettfrei*) auswirken.

5.3 Bewertung von Literatur-Regressionsgleichungen zur Schätzung der Leerkörperzusammensetzung

Die in der Literatur verwendeten Regressionsgleichungen zur Schätzung der Leerkörperzusammensetzung unterscheiden sich grundlegend von denen, die in der vorliegenden Arbeit aufgestellt worden sind (vgl. Abschnitt 2.2.2.5, Übersicht 2). Während in jenen Untersuchungen die *Massen* der Leerkörperbestandteile in der *fetthaltigen* Leerkörpermasse anhand der Lebendmasse zusammen mit der anhand der Verdünnungsmethode ermittelten Ganzkörperwassermasse als unabhängige Variablen geschätzt werden, dient hier die Leerkörpermasse als einzige erklärende Variable für die Schätzung der *prozentualen* Zusammensetzung der *fettfreien* Leerkörpermasse. Die so erhaltenen Werte ermöglichen die Berechnung der Zusammensetzung der *fetthaltigen* Leerkörpermasse (vgl. Abschnitt 9.7). In diesem Abschnitt sollen nun die beiden Vorgehensweisen miteinander verglichen werden. Dazu wurden analog zur Literatur zunächst folgende Regressionsgleichungen¹⁶ entwickelt:

Parameter	Koeffizienten	Statistische Maße
Leerkörperwassermasse (kg)	$0,428 + 0,402 * LM + 0,172$ $* GKH_2OMD_2O$	$R^2 = 0,996$; RSD = 0,19; RCV = 2,70 %
Leerkörperrohproteinmasse (kg)	$0,003 + 0,201 * LM - 0,059$ $* GKH_2OMD_2O$	$R^2 = 0,996$; RSD = 0,06; RCV = 2,91 %
Leerkörperrohfettmasse (kg)	$-0,028 + 0,562 * LM - 0,640$ $* GKH_2OMD_2O$	$R^2 = 0,962$; RSD = 0,11; RCV = 12,35 %
Leerkörperrohaschemasse (kg)	$-0,005 + 0,067 * LM - 0,041$ $* GKH_2OMD_2O$	$R^2 = 0,993$; RSD = 0,02; RCV = 4,10 %

LM = Lebendmasse (kg); GKH_2OMD_2O = mittels D_2O geschätzte Ganzkörperwassermasse (kg)

¹⁶ Regressionsanalytisches Modell siehe Abschnitt 3.4

Der Vergleich der RCV-Werte mit den analogen Angaben in der Literatur zeigt, dass die dort ermittelten Werte in einer vergleichbaren Größenordnung liegen wie die oben angeführten Angaben. Während die Wasser-, Rohprotein- und Rohaschemassen im Leerkörper mit großer Genauigkeit geschätzt werden können, ist die Schätzung der Rohfettmasse anhand dieses Modells eher problematisch, was am Schätzfehler von $RCV = 12,35 \%$ abzulesen ist.

Um die durch die Anwendung der beiden Vorgehensweisen erzielten Ergebnisse miteinander vergleichen zu können, wurden in einem weiteren Schritt die Schätzwerte in Beziehung zu den chemisch bestimmten Bestandteilen gesetzt. Tabelle 33 enthält die so erhaltenen Masse für die Übereinstimmung zwischen den geschätzten und den chemisch bestimmten Bestandteilen des Leerkörpers. Hierbei steht der Begriff „Methode A“ für die Methode, die in der vorliegenden Arbeit verwendet wurde, und der Ausdruck „Methode L“ für die Vorgehensweise in der Literatur. Darüber hinaus erfolgte eine Umrechnung der nach „Methode A“ geschätzten prozentualen Bestandteile in die entsprechenden Massen, bei „Methode L“ dagegen die Umrechnung der geschätzten Massen in die prozentualen Bestandteile.

Die Angaben in Tabelle 33 zeigen, dass sich die beiden Methoden in Bezug auf ihre Schätzgenauigkeit nicht wesentlich unterscheiden. „Methode A“ und „Methode L“ zeichnen sich jeweils durch eine hohe Übereinstimmung der Schätzwerte für die Wasser-, die Rohprotein- und die Rohaschemasse bzw. -gehalte mit den chemisch ermittelten Werten aus, während bei der Rohfettmasse bzw. beim Rohfettgehalt eine deutliche höhere Streuung der Übereinstimmung besteht.

Tabelle 33: Schätzung der Leerkörperzusammensetzung mittels der Regression von der Leerkörpermasse (Methode A) bzw. der Regression von der Lebendmasse und der geschätzten Ganzkörperwassermasse (Methode L) auf die Leerkörperbestandteile im Vergleich zur chemischen Analyse ($\bar{x} \pm s$, $n = 30$; 2. Versuchsperiode)

Bestandteil	Chemische Analyse	D ₂ O (Methode A) ^a		D ₂ O (Methode L) ^b	
		absolut	relative Übereinstimmung (%)	absolut	relative Übereinstimmung (%)
Wassergehalt (%)	68,78 ± 2,38	68,83 ± 2,55	100,08 ± 1,01	68,84 ± 2,11	100,13 ± 2,00
Rohproteingehalt (%)	18,67 ± 0,62	18,70 ± 0,75	100,16 ± 3,34	18,69 ± 0,43	100,13 ± 2,43
Rohfettgehalt (%)	8,39 ± 2,13	8,29 ± 2,81	98,09 ± 16,63	8,37 ± 2,19	100,79 ± 5,68
Rohaschegehalt (%)	4,14 ± 0,24	4,15 ± 0,23	100,32 ± 5,52	4,14 ± 0,21	100,13 ± 3,85
Wassermasse (kg)	7,00 ± 3,01	7,01 ± 3,04	100,88 ± 3,09	7,00 ± 3,00	99,82 ± 2,77
Rohproteinmasse (kg)	1,94 ± 0,90	1,95 ± 0,92	100,19 ± 5,01	1,94 ± 0,90	99,82 ± 3,11
Rohfettmasse (kg)	0,92 ± 0,58	0,89 ± 0,62	97,85 ± 15,53	0,92 ± 0,57	100,57 ± 16,58
Rohaschemasse (kg)	0,43 ± 0,21	0,44 ± 0,21	100,37 ± 7,08	0,43 ± 0,21	99,83 ± 4,39

a: Methode A = Regression von der Leerkörpermasse auf die Bestandteile des Leerkörpers (siehe Abschnitt 9.7); b: Methode L = Regression von der Lebendmasse und der mittels D₂O geschätzten Ganzkörperwassermasse auf die Leerkörperbestandteile

Die „Methode L“ erfordert einen etwas geringeren Rechenaufwand als die „Methode A“. Diesem Vorteil stehen jedoch zwei wesentliche Nachteile gegenüber, die im Folgenden dargestellt werden sollen:

1. Zwischen den unabhängigen Variablen Lebendmasse und Ganzkörperwassermasse besteht für die eigenen Daten eine hohe Korrelation von $r = 0,996$ ($P < 0,001$), was dazu führt, dass die Regressionskoeffizienten von Stichprobe zu Stichprobe stark schwanken (Janssen und Laatz, 1994). Der Hintergrund ist der, dass verschiedene Faktoren die Leerkörperzusammensetzung beeinflussen können, wie in Abschnitt 5.2.2 dargestellt. Dieser Einfluss manifestiert sich vor allem in einer unterschiedlichen Variabilität des Fettgehaltes in Abhängigkeit von den Rahmenbedingungen für den Versuch. Der Fettgehalt steht in reziproker Beziehung zum Wassergehalt, so dass ein steigender Fettgehalt zu einem niedrigeren Wassergehalt des Leerkörpers und mithin zu einer niedrigeren Ganzkörperwassermasse führt. Eine unterschiedliche Versuchsanstellung, z. B. bezüglich der Fütterungsintensität, kann daher eine ebenso unterschiedliche Beziehung zwischen der Lebendmasse und der Ganzkörperwassermasse bewirken. Dies wiederum kann, bedingt durch die veränderte Beziehung zwischen den erklärenden Variablen, eine fehlerhafte Schätzung der Leerkörperzusammensetzung zur Folge haben.
2. Die Ganzkörperwassermasse kann in Folge des Einsatzes verschiedener Futtermittel zu unterschiedlichen Teilen aus der Chymus- und der Leerkörperwassermasse bestehen. Dies wird bei der „Methode L“ nicht berücksichtigt. Mit der Veränderung der Chymusmasse bzw. -wassermasse variiert jedoch, bei gleichbleibender Lebendmasse und Ganzkörperwassermasse, auch die gemeinsame Beziehung der erklärenden Variablen zu den Bestandteilen des Leerkörpers. Durch die Anwendung dieser Regressionsgleichung unter anderen Rahmenbedingungen können daher ebenfalls fehlerhafte Schätzwerte für die Leerkörperzusammensetzung entstehen.

Beiden Methoden ist der relativ hohe Schätzfehler beim Rohfettgehalt bzw. bei der Rohfettmasse gemeinsam. Während bei „Methode A“ eine höhere Genauigkeit durch eine verbesserte Schätzung der Chymusmasse erzielt werden könnte, entfällt bei „Methode L“ diese Korrekturmöglichkeit. Hier ist der Schätzfehler methodisch bedingt.

Als Fazit des Vergleichs der beiden verschiedenen Vorgehensweisen zur Schätzung der Leerkörperzusammensetzung lässt sich feststellen, dass die „Methode L“ sehr spezifisch auf eine

Versuchsanstellung bzw. Tiergruppe zugeschnitten ist, was ihre Übertragbarkeit auf andere vergleichbare Untersuchungen einschränkt. Der Sinn und Zweck des Erstellens von Regressionsgleichungen liegt aber gerade in ihrer Verwendung bei anderen Experimenten. Als Folge der mangelnden Übertragbarkeit ist mit einem höheren Verlust der Schätzgenauigkeit zu rechnen als bei der Verwendung der „Methode A“. Letztere ist gegenüber Veränderungen der Rahmenbedingungen unempfindlicher, da sie durch eine entsprechende Schätzgleichung Variationen der Chymusmasse und der Chymuswassermasse erfassen kann. Darüber hinaus greift sie auf die *fettfreie* Leerkörpermasse zurück, deren Zusammensetzung, wie in Abschnitt 5.2.2 diskutiert, nicht durch Faktoren wie die Fütterungsintensität oder das Geschlecht beeinflusst wird.

6 Schlussfolgerungen

Zweck und Inhalt der hier vorgestellten Untersuchung war es zu überprüfen, ob die Verdünnungsmethode unter Verwendung von D_2O geeignet ist, die Körperzusammensetzung lebender Ziegenlämmer im Gewichtsabschnitt von 4 kg bis 20 kg zu bestimmen und wie genau die Schätzwerte ausfallen. Die Ergebnisse belegen die prinzipielle Anwendbarkeit dieser Methode.

- Der Ganzkörperwassergehalt wird überschätzt. Da jedoch eine enge lineare Beziehung zwischen dem geschätzten und dem analytisch bestimmten Ganzkörperwassergehalt besteht, kann hierdurch eine entsprechende Korrektur vorgenommen werden, so dass die Überschätzung an sich kein Hindernis für die Anwendung der Verdünnungsmethode darstellt.
- Das im Rahmen der Untersuchung entwickelte System aus mehreren Regressionsgleichungen zur Schätzung der Leerkörperzusammensetzung ermöglicht die Berücksichtigung der Wassermasse im Chymus und der Chymusmasse als wesentliche Bestandteile des Verteilungsraumes für den Marker D_2O . Darüber hinaus greift es auf die physiologische Gegebenheit zurück, dass die Zusammensetzung des fettfreien Leerkörpers vor allem von der Leerkörpermasse abhängt und nicht durch Faktoren wie z. B. die Fütterungsintensität, die Rasse oder das Geschlecht beeinflusst wird.
- Die Leerkörperbestandteile Wasser, Rohprotein und Rohasche lassen sich mit einer hohen Genauigkeit schätzen. Bei der Schätzung des Rohfettgehaltes können jedoch größere Abweichungen auftreten. Dies ist durch eine relativ hohe Streuung der Schätzwerte für die Chymusmasse und die Chymuswassermasse zu erklären, die sich indirekt auf die Schätzung der Rohfettmasse bzw. des Rohfettgehaltes auswirkt. Eine Verbesserung des Regressionsmodells für die Schätzung der Chymusmasse und der Chymuswassermasse könnte möglicherweise durch die Berücksichtigung der physiologischen Wirkung der eingesetzten unterschiedlichen Futtermittel (Konzentratfutter, Stroh) auf die Füllung des Gastrointestinaltraktes vorgenommen werden.
- Das System der Regressionsgleichungen ist im Vergleich zu den in der Literatur vielfach angeführten Modellen, bei denen mit Hilfe der Lebendmasse und der mittels D_2O geschätzten Ganzkörperwassermasse direkt auf die Leerkörperzusammensetzung geschlossen wird, unempfindlicher gegenüber der Übertragung auf andere Tiergruppen, da es nicht nur die Variabilität der Chymusmassen erfasst, sondern auch die enge Beziehung zwi-

schen der Leerkörpermasse und deren fettfreier Zusammensetzung nutzt. Dies bewirkt einen geringeren Verlust an Schätzgenauigkeit bei der Anwendung der entwickelten Regressionsgleichungen im Rahmen weiterer Versuche. Die Anwendung des hier entwickelten Systems von Regressionsgleichungen erscheint daher grundsätzlich besser geeignet.

Die Auswertung der Daten hat ergeben, dass bei der praktischen Anwendung der Verdünnungsmethode zwei Punkte zu beachten sind.

1. Der Zweck einer Nüchterung vor der Markerinjektion liegt in der Reduzierung der Chymusmasse und einer Verkleinerung des Verteilungsraumes. Entscheidend für eine gleichmäßige Verteilung des Markers im gesamten Körperwasser ist die Kombination mit einer ausreichend langen Wartezeit zwischen der Injektion und den Blutproben. Die Messung der D₂O-Konzentrationen im Chymuswasser zeigten zwar, dass das Verteilungsgleichgewicht nach vier bis fünf Stunden weitestgehend erreicht war. Für eine noch genauere Erfassung dieses Gleichgewichtes und der damit verbundenen D₂O-Konzentration im Körperwasser wird jedoch empfohlen, wenigstens drei Blutproben im Abstand von jeweils einer halben Stunde zu ziehen.
2. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist weder etwas bekannt darüber, ob D₂O-Verluste durch die Wasserverdunstung über die Haut und die Atemwege auftreten noch in welcher Höhe. Bis entsprechende Forschungsergebnisse vorliegen, sollte darauf geachtet werden, die klimatischen Rahmenbedingungen bei weiteren Versuchen möglichst konstant, d. h. vergleichbar zu halten, da theoretische Überlegungen ergeben haben, dass Verluste und damit ein Einfluss auf die Schätzgenauigkeit des Ganzkörperwassergehaltes nicht auszuschließen sind.

Zusammengefasst stellt die Verdünnungsmethode unter Verwendung von D₂O eine praktikable Möglichkeit zur *in vivo*-Bestimmung der Leerkörperzusammensetzung bei Ziegenlämmern im Gewichtsabschnitt von 4 kg bis 20 kg dar. Sie zeichnet sich gegenüber der Vergleichsschlachtung mit anschließender chemischer Analyse durch eine hohe Genauigkeit aus und ist vor allem wegen des geringeren Arbeitsaufwandes und des Erhaltes des Tieres als verhältnismäßig kostengünstig zu beurteilen. Weitere Untersuchungen an Ziegenlämmern sind jedoch erforderlich, um die hier vorgestellten Ergebnisse und Schlussfolgerungen durch eine breitere Datenbasis zu untermauern.

7 Zusammenfassung

Die Erforschung der Nährstoffverwertung bzw. des Nährstoffbedarfs wachsender Tiere erfordert eine Methode, anhand derer die Veränderungen der Körperzusammensetzung im Laufe des Wachstums am lebenden Tier (*in vivo*) erfasst werden können. Es wurde daher ein Versuch durchgeführt, um die Anwendbarkeit der Verdünnungsmethode mit Hilfe des Markers Deuteriumoxid (D_2O) an Ziegenlämmern im Gewichtsabschnitt von 4 kg bis 20 kg LM zu überprüfen. Ziel war es, anhand dieser Methode eine Grundlage für die Erforschung des bei Ziegen bis heute weitgehend ungeklärten Nährstoffwechsels zu schaffen. Während zweier Versuchsperioden erfolgte die Aufzucht von insgesamt 53 Ziegenlämmern der Rasse Bunte Deutsche Edelziege in Einzelkäfigen, wo die Tiere bis zum Absetzen 1000 g Ziegenvollmilch pro Tag sowie Konzentratfutter und Stroh ad libitum erhielten. Das Absetzen wurde bei 12 kg Lebendmasse vorgenommen. Im Anschluss daran bestand die Ration aus Konzentratfutter und 100 g Stroh pro Tag; die Energiezufuhr entsprach dem 2,4fachen Erhaltungsbedarf. Dreimal pro Woche wurden die Lämmer gewogen. Jede Versuchsperiode war in fünf Wachstumsabschnitte mit 4, 8, 12, 16 bzw. 20 kg Lebendmasse untergliedert. Pro Abschnitt wurde an den Tieren nach einer 13- bis 18stündigen Nüchterung eine Markerinjektion vorgenommen und nach weiteren vier bis fünf Stunden Blutproben für die Messung der D_2O -Konzentration gezogen. Bei jeweils einem Teil der Tiere erfolgte anschließend die Schlachtung und die chemische Analyse der Körper zur Bestimmung des Ganzkörperwassergehaltes, der Chymusmasse und der Leerkörperzusammensetzung.

Die Messungen der D_2O -Konzentrationen in den Blutproben und die chemische Analyse der Ganzkörper ergaben eine Überschätzung des Ganzkörperwassergehaltes durch die Verdünnungsmethode um im Mittel $3,99 \% \pm 1,44$. Bezogen auf die Ganzkörperwassermasse betrug die Überschätzung $5,58 \% \pm 1,54$. Zwischen dem chemisch bestimmten und dem geschätzten Ganzkörperwassergehalt besteht eine enge lineare Beziehung, anhand derer der Schätzwert korrigiert werden kann.

Die Variabilität des Inhaltes des Gastro-Intestinaltraktes (Chymus) lässt sich mit Hilfe einer quadratischen Regressionsgleichung im Wesentlichen durch die Lebendmasse erklären. Der Schätzfehler von $RCV = 13,75 \%$ weist jedoch darauf hin, dass wenigstens eine weitere erklärende Variable, z. B. die Trockenmasseaufnahme, für eine präzisere Schätzung der Chymusmasse berücksichtigt werden muss. Letztere dient zur Schätzung der Leerkörpermasse (Lebendmasse minus Chymusmasse).

Die chemische Analyse der Tierkörper zeigte, dass die Zusammensetzung des fettfreien Leerkörpers im hohen Maß von der Leerkörpermasse abhängt. Anhand von allometrischen Regressionsgleichungen wurden die Bestandteile der fettfreien Leerkörpermasse geschätzt und daraus die Zusammensetzung des fetthaltigen Leerkörpers ermittelt. Die Rohfettmasse errechnet sich aus der Differenz zwischen der fetthaltigen und der fettfreien Leerkörpermasse. Der Vergleich der mittels chemischer Analyse bestimmten bzw. der Verdünnungsmethode geschätzten Leerkörperzusammensetzung ergab eine hohe Übereinstimmung beim Wasser-, Rohprotein- und Rohaschegehalt. Der Rohfettgehalt wies dagegen größere Abweichungen auf. Als Ursache wurde die Streuung der geschätzten Chymusmasse bzw. Chymuswassermasse aufgedeckt, die sich mittelbar auf die Schätzung der fetthaltigen und der fettfreien Leerkörpermasse auswirkt.

Die Messung der D₂O-Konzentrationen im Chymuswasser zeigte, dass durch die Kombination einer 13stündigen Nüchterungsdauer mit einer vier- bis fünfstündigen Wartezeit bis zur Blutentnahme eine nahezu gleichmäßige Verteilung des Markers im gesamten Körperwasser erzielt werden kann. Die Konzentrationen betrugen im Mittel $94,50 \% \pm 3,43$ der Konzentrationen im Blutwasser. Bei einer hundertprozentigen Verteilung wäre der Ganzkörperwassergehalt um im Mittel $1,09 \% \pm 0,70$ höher geschätzt worden. Dieser Unterschied war statistisch signifikant.

Die Analyse des während der Wartezeit zwischen der Markerinjektion und der Blutprobenentnahme ausgeschiedenen Kot-Harn-Gemisches ergab eine erhebliche Streuung sowohl bei den Massen als auch bei den D₂O-Konzentrationen. Der Anteil der ausgeschiedenen D₂O-Masse an der injizierten Markerdosis reichte von 0,7 % bis 1,7 %. Die Berücksichtigung der D₂O-Massen im Kot-Harn-Gemisch bei der Schätzung des Ganzkörperwassergehaltes hatte einen signifikanten Einfluss in der ersten, nicht jedoch in der zweiten Versuchsperiode. Ohne Korrektur um die Markerverluste wäre der Ganzkörperwassergehalt in der ersten Versuchsperiode um im Mittel $0,11 \% \pm 0,21$ höher geschätzt worden.

Die Schlussfolgerung lautet, dass die Verdünnungsmethode unter Verwendung von D₂O eine praktikable Methode zur *in vivo*-Bestimmung der Körperzusammensetzung von Ziegenlämmern im Gewichtsabschnitt von 4 kg bis 20 kg LM darstellt. Bei ähnlicher Genauigkeit verursacht die Anwendung dieser Methode im Vergleich zur Schlachtung geringere Kosten.

Summary

The investigation of nutrient efficiency and nutrient needs in growing animals requires a method which allows the changes of body composition during growth on living animals (*in vivo*) to be measured. Therefore a study was carried out to check the suitability of the dilution method using the marker deuterated water (D₂O) on young goats with a live weight range of 4 kg up to 20 kg. The object was to prepare a basis to investigate the nutrient metabolism of goats which is to a great extent unknown. During two experimental periods 53 kids (German Fawn) were reared in individual crates. Preweaning feeding was based on 1000 g goat milk per day, straw and concentrates ad lib.. Weaning was carried out at 12 kg live weight. After that the animals were offered concentrates and 100 g straw per day. The energy level amounted to the 2,4fold of the requirement for maintenance. Body weight was monitored three times a week. Each experimental period consisted of a sequence of five periods corresponding to live weights of 4, 8, 12, 16 and 20 kg. At the end of each period the animals received an intravenous dose of D₂O after a fastening time of 13 to 18 hours. Blood samples were taken after a waiting period of 4 to 5 hours to determine the marker concentration. In connection with the last blood sample in each period a part of the animals were slaughtered to determine the total body water content, the digesta mass and the empty body composition by chemical analysis.

The determination of the marker concentration in the blood samples and the chemical analysis of the total bodies showed that the dilution method overestimated total body water content by $3,99 \% \pm 1,44$. Referring to the total body water space the overestimation was $5,58 \% \pm 1,54$. There is a close linear relationship between the estimated and the chemically determined content of total body water which can be used for the correction of the estimated value.

The variation of the digesta mass mainly depends on the live weight and can be described by a square equation. However the residual coefficient of variation of 13,75 % indicates that at least one more independent variable e. g. the dry matter intake needs to be considered for a more precise estimation of the digesta mass. The latter is used to estimate empty body mass (live weight minus digesta mass).

The chemical analysis of the animal bodies revealed that the composition of the fat-free empty body is mainly dependent on the empty body mass. Using allometric equations the components of the fat-free empty body mass were estimated and thus the composition of the empty body could be calculated. The amount of empty body fat was determined by the differ-

ence between the empty body mass and the fat-free empty body mass. The comparison of the chemically determined components with the estimated components of the empty body showed a high agreement concerning the content of water, protein and ash. However estimation of the fat content is less accurate. The reason is the variation of the estimated digesta mass and the digesta water mass which influences indirectly the estimation of the (fat-free) empty body mass.

The determination of the marker concentration in the digesta water revealed that a combination of a 13 hour fastening time with a waiting period of 4 to 5 hours until the taking of blood samples is appropriate to achieve an almost complete equilibrium of the marker within total body water. The concentration in the digesta water was $94,50 \% \pm 3,43$ of the corresponding concentration in the blood. Provided a complete dilution total body water content would have been estimated higher by $1,09 \% \pm 0,70$. This difference was statistically significant.

The chemical analysis of urine and faeces samples collected during the waiting period showed a considerable variance concerning each the quantity and the concentration of the marker. The portion of the excreted marker amounted 0,7 % up to 1,7 % of the injected marker. Considering the excreted marker quantity the estimated total body water content resulted in a significant different value in the first but not in the second experimental period. Without correction total body water content would have been estimated higher by $0,11 \% \pm 0,21$ in the first experimental period.

It can be concluded that the dilution technique using deuterated water is a practicable method to determine *in vivo* the body composition of growing kids with a live weight range of 4 kg up to 20 kg. In comparison to the serial slaughter procedure the application of this method causes lower costs in connection with similar precision.

Literaturverzeichnis

- Agricultural Research Council (1980). Composition of the ruminant's body and its products. In: The nutrient requirements of ruminant livestock. A technical review by an Agricultural Research Council Working Party. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, 1-58
- Allen, P. (1990). New approaches to measuring body composition in live meat animals. In: Wood, Fisher (Hrsg.): Reducing fat in meat animals. Elsevier Applied Science Publishers Barking, 201-254
- Arnold, R.N., Hentges, E.J., Trenkle, A. (1985). Evaluation of the use of deuterium oxide dilution techniques for determination of body composition of beef steers. *J. Anim. Sci.*, 60 (5), 1188-1200
- Arnold, R.N., Trenkle, A. (1986). Equilibration and passage of water in the gastrointestinal tract of cattle in relation to estimating body water by compartmental kinetic models. *J. Anim. Sci.*, 63, 1400-1409
- Ash, A.J., Norton, B.W. (1987). Studies with the Australian Cashmere Goat. II. Effects of dietary protein concentration and feeding level on body composition of male and female goats. *Aust. J. Agric. Res.*, 38, 971-982
- Aumont, G., Poisot, F., Saminadin, G., Borel, H., Alexandre, G. (1994). Body condition score and adipose cell size determination for in vivo assessment of body composition and post-mortem predictors of carcass components of Creole goats. *Small Ruminant Res.*, 15, 77-85
- Bailey, C.B. (1986). Growth of digestive organs and their contents in Holstein steers: relation to body weight and diet. *Can J. Anim. Sci.*, 66, 653-661
- Bartle, S.J., Kock, S.W., Preston, R.L., Wheeler, T.L., Davis, G.W. (1987). Validation of urea dilution to estimate in vivo body composition in cattle. *J. Anim. Sci.*, 64, 1024-1030
- Bas, P., Chilliard, Y., Morand-Fehr, P., Schmidely, P., Sauvant, D. (1990). Estimation in vivo de l'état d'engraissement des chèvres laitières à partir des méthodes de l'eau lourde ou de l'urée. *Reprod. Nutr. Dévelop.*, Suppl. 2, 253s-254s
- Bas, P., Morand-Fehr, P., Schmidely, P. (1991). Weaning: A critical period for young kids. In: P. Morand-Fehr (Hrsg.): Goat nutrition. EAAP-Publikation Nr. 46. Pudoc Wageningen, 271-283
- Bas, P., Schmidely, P., Sauvant, D., Morand-Fehr, P., Rouzeau, A. (1992). Analyse des causes de surestimation de l'eau corporelle de la chèvre par l'espace de diffusion de l'urée. *Ann. Zootech.*, 41, 12-122
- Bass, J.J., Duganzich, D.M. (1980). A note on effect of starvation on the bovine alimentary tract and its contents. *J. Anim. Prod.*, 31, 111-113

- Bass, J.J., Woods, E.G., Paulsen, W.D. (1982). A comparison of three ultrasonic machines (Danscan, AIDD (NZ) and Body Composition meter) and subjective fat and conformation scores for predicting chemical composition of live sheep. *J. Agric. Sci., Cambr.*, 99, 529-532
- Baulain, U. (1993). Bestimmung der Körperzusammensetzung landwirtschaftlicher Nutztiere mit Hilfe der Röntgen-CT. In: Nicht-invasive Methoden zur Messung der Körperzusammensetzung - Optimierung der quantitativen Analyse. Workshop am 2./3.12.1992, Inst. für Tierzucht und Tierverhalten der FAL, Mariensee, 110-118
- Baulain, U. (1993). MR-Imaging zur Erfassung der Körperzusammensetzung in vivo. In: Nicht-invasive Methoden zur Messung der Körperzusammensetzung - Optimierung der quantitativen Analyse. Workshop am 2./3.12.1992, Inst. für Tierzucht und Tierverhalten der FAL, Mariensee, 119-126
- Benjamin, R.W., Koenig, R., Becker, K. (1993). Body composition of young sheep and goats determined by the tritium dilution technique. *J. Agric. Sci., Cambr.*, 121, 399-408
- Beranger, C., Robelin, J. (1978). Estimation du poids du contenu digestif des bovins à partir du poids du contenu du rumen. *Ann. Zootech.*, 27 (4), 639-645
- Bird, P.R., Flinn, P.C., Cayley, J.W.D., Watson, M.J. (1982). Body composition of live cattle and its prediction from fasted liveweight, tritiated water space and age. *Austr. J. Agric. Res.*, 33, 375-387
- Black, J.L. (1974). Manipulation of body composition through nutrition. *Proc. Australian Soc. Anim. Prod.*, 10, 211-218
- Brown, D.L., Taylor, S.J. (1986). Deuterium oxide dilution kinetics to predict body composition in dairy goats. *J. Dairy Sci.*, 69, 1151-1155
- Burton, J.H., Reid, J.T. (1969). Interrelationships among energy input, body size, age and body composition of sheep. *J. Nutr.*, 97, 517-524
- Busk, H. (1989). Applications of ultrasound imaging in animal science. In: Kallweit, E., Henning, M., Groeneveld, E. (Hrsg.): Application of NMR techniques on the body composition of live animals. Elsevier Applied Science Publishers Barking, 75-90
- Byers, F.M., Schelling, G.T. (1986). Evaluation of deuterium oxide dilution systems for estimating body composition of beef cattle. Progress Report Texas Agric., Experiment. Station, 4473, 29-33
- Chigaru, P.R.N., Holness, D.H. (1983). Estimation of body water and fat in cattle using tritiated water space and live weight with particular reference to the influence of breed. *J. Agric. Sci., Cambr.*, 101, 257-264
- Cowan, R.T., Robinson, J.J., McHattie, I., Fraser, C. (1980). The prediction of body composition in live ewes from live weight and estimates of gut contents and total body water. *J. Agric. Sci.*, 95, 515-522
- Crabtree, R.M., Houseman, R.A., Kay, M. (1974). The estimation of body composition in beef cattle by deuterium oxide dilution. *Proc. Nutr. Soc.*, 33, 74a-76a

- Culebras, J.M., Fitzpatrick, G.F., Brennan, M.F., Boyden, C.M., Moore, F.D. (1977). Total body water and the exchangeable hydrogen. II. A review of comparative data from animals based on isotope dilution and desiccation, with a report of new data from the rat. *Am. J. Physiol.*, 232, R60-R65
- Deguchi, Y., Oura, R., Sekine, J. (1991). Effect of fasting on the flow rate and quantity of digesta dry matter in the alimentary tract of goats. *J. Fac. Agriculture, Tottori-Univ., Tottori* 680, Japan, 27, 43-45
- Devendra, C., Coop, I.E. (1982). Ecology and distribution. In: Coop, I.E. (Hrsg.): *Sheep and goat production. World Animal Science, Production-System Approach*. Elsevier Science Publishers Amsterdam, 1-14
- Domingo, E.A., Trigg, T.E., Topps, J.H. (1973). Estimation of body composition of sheep by isotopic dilution techniques. *Abstr. Communications*, 20a-22a
- Doney, J.M., Gunn, R.G., Horák, F. (1982). Reproduction. In: Coop, I.E. (Hrsg.): *Sheep and goat production. World Animal Science, Production-System Approach*. Elsevier Science Publishers Amsterdam, 57-80
- Dunshea, F.R., Bell, A.W. (1988). Relations between plasma non esterified fatty acid metabolism and body tissue mobilization during chronic undernutrition in goats. *Br. J. Nutr.*, 60, 633-644
- Dunshea, F.R., Bell, A.W., Chandler, K.D., Trigg, T.E. (1988). A two-pool model of tritiated water kinetics to predict body composition in unfasted lactating goats. *Anim. Prod.*, 47, 435-445
- Forrest, J.C. (1993). Klassifizierung von Schlachtkörpern und Teilstücken mit dem TOBEC-Gerät. In: *Nicht-invasive Methoden zur Messung der Körperzusammensetzung - Optimierung der quantitativen Analyse. Workshop am 2./3.12.1992, Inst. für Tierzucht und Tierverhalten der FAL, Mariensee*, 49-58
- Fortin, A., Shrestha, J.N.B. (1986). In vivo estimation of carcass meat by ultrasound in ram lambs slaughtered at an average live weight of 37 kg. *Anim. Prod.*, 43, 469-475
- Gall, C. (1982). Milchproduktion. In: Comberg, G. (Hrsg.): *Ziegenzucht*. Eugen Ulmer Verlag Stuttgart, 59-73
- Garza, F.J.D., Owens, F.N. (1989)- Quantitative origin of ruminal liquid with various diets and feed intake. *Anim. Sci. Res. Rep., Agric. Exp. Station, Oklahoma State University*, No. MP-127, 84-88
- Ghosh, T.K., Singh, U.B., Verma, D.N., Saxena, K.K., Ranjhan, S.K. (1980). Measurement of water turnover and water requirements in different species of animals in two seasons. *Indian J. Animal Sci.*, 50 (8), 615-619
- Graham, N.McC. (1982). Maintenance and growth. In: Coop, I.E. (Hrsg.): *Sheep and goat production. World Animal Science, Production-System Approach*. Elsevier Science Publishers Amsterdam, 81-101

- Gürtler, H. (1989). Die Physiologie der Verdauung und Resorption. In: Kolb, E. (Hrsg.): Lehrbuch der Physiologie der Haustiere. Teil 1, 5. Auflage. Gustav Fischer Verlag Stuttgart, 196-369
- Handbuch der landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (Methodenbuch). Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA), VDLUFA-Verlag Darmstadt. Bd. 3: Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. Bassler, R., Naumann, C. (Hrsg.), 1988
- Harricharan, H., Ramlal, H., Lauckner, B. (1987). Factors influencing the growth of intensively reared kids from birth to twelve weeks of age. *Ann. Zootech.*, 36 (4), 351-360
- Hernández Ledezma, J.J. (1987). Sheep. In: Johnson, H.D. (Hrsg.): Bioclimatology and the adaption of livestock. World Animal Science, Disciplinary Approach. Elsevier Science Publishers Amsterdam 169-179
- Hörnigke, H. (1961). Methoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung lebender Tiere unter besonderer Berücksichtigung des Schweines. II. Übersicht über die bisher angewandten Methoden. *Z. Tierphysiol., Tierern., Futtermittel.*, 16, 267-297
- Hörnigke, H. (1966). Methoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung am lebenden Tier. *Z. Tierzücht. u. Züchtungsbiol.*, 82, 169-186
- Houseman, R.A., Robinson, J.J., Fraser, C. (1978). The estimation of body water and fat in pregnant ewes using deuterium oxide. *Proc. Nutr. Soc.*, 37, 64a
- Janssen, J., Laatz, W. (1994). Lineare Regressionsanalyse. In: Statistische Datenanalyse mit SPSS für Windows. Springer-Verlag Berlin, 405
- Jindal, S.K., Mehta, A. K., Rao, M.V.N. (1980). Influence of dietary energy on the body composition and feed conversion efficiency during growth in goats. *Ind. J. Nutr. Dietet.*, 17, 95-98
- Kempster, A.J., Arnall, D., Alliston, J.C., Barker, J.D. (1982). An evaluation of two ultrasonic machines (Scanogram and Danscanner) for predicting the body composition in live sheep. *Anim. Prod.*, 34, 249-255
- Kirchgessner, M. (1987). Methodik der Energiewechselmessung. In: Tierernährung. DLG-Verlag Frankfurt, 7. Auflage, 106
- Kolb, E., Gürtler, H. (1971). Die Bedeutung des Wassers und Störungen des Wasserhaushaltes. In: Kolb, E., Gürtler, H. (Hrsg.): Ernährungsphysiologie der landwirtschaftlichen Nutztiere. VEB Gustav Fischer Verlag Jena, 588-616
- Lukaski, H.C. (1987). Methods for the assessment of human body composition: traditional and new. *Am. J. Clin. Nutr.*, 46, 537-556

- Lynch, G.P., Wellington, G.H. (1963). Predicting the whole body composition of living hogs from specific gravity determinations. *Ann. New York Acad. Sci.*, 110, 318-326
- McCarthy, F.D., Hawkins, D.R., Bergen, W.G. (1983). Comparisons of deuterium oxide, specific gravity and 9-10-11 rib separation techniques for estimating body composition in beef cattle. *Res. Report- Michigan State University, Agric. Experiment. Station*, 444, 42-50
- McGregor, B.A. (1984). Growth, development and carcass composition of goats: a review. In: Copland, J.W. (Hrsg.): *Goat production and research in the tropics. Proceedings of a workshop held at the University of Queensland, Brisbane, Australia, 6.-8.Febr. 1984*, ACIAR Proceeding
- McGregor, B.A. (1992). Body composition, body condition scores and carcass and organ components of grazing Angora goats. *Proc. Austr. Soc. Anim. Prod.*, 19, 273-276
- McManus, W.R., Prichard, R.K., Baker, C., Petruchenia, M.V. (1969). Estimation of water content by tritium dilution of animals subjected to rapid live weight changes. *J. Agric. Sci.*, 72, 31-40
- Meissner, H.H., van Staden, J.H., Pretorius, E. (1980). In vivo estimation of body composition in cattle with tritium and urea dilution. I. Accuracy of prediction equations for the whole body. *South African J. Anim. Sci.*, 10, 165-173
- Menke, K.H., Huss, W. (1987). *Energiewechsel*. In: *Tierernährung und Futtermittelkunde*. 3. Auflage, Eugen Ulmer Verlag Stuttgart, 87
- Midwood, A.J., Haggarty, P., McGaw, B.A. (1993). The doubly labeled water method: errors due to deuterium exchange and sequestration in ruminants. *Am. J. Physiol.*, 264, R561-567
- Miles, C.A. (1982). Other techniques and future possibilities. *Beretning fra Statens Husdyrbrugsforsoeg*, 524, 165-193
- Morand-Fehr, P., Branca, A., Santucci, P., Napoleone, M. (1989). Methodes d' estimation de l'etat corporel des chevres reproductrices. In: Flamant, J.C., Morand-Fehr, P. (Hrsg.): *L'évaluation des ovins et des caprins méditerranéens*. EUR-Publication 11893 - Agriculture, 202-220
- Moulton, C.R. (1923). Age and chemical development in mammals. *J. Biol. Chem.*, 57, 79-97
- Norton, B.W., Jagusch, K.T., Walker, D.M. (1970). Body composition studies with the milk-fed lamb. III. The effect of the protein and energy intake on the composition of the liveweight gain. *J. Agric. Sci., Cambr.*, 75, 287-292
- National Research Council - NRC- (1981). Nutrient requirements of goats. In: *Nutrient requirements of domestic animals No. 15*, National Academy Press, Washington
- Odwongo, W.O., Conrad, H.R., Staubus, A.E. (1984). The use of deuterium oxide for the prediction of body composition in live dairy cattle. *J. Nutr.*, 114, 2127-2137

- Oetzel, G.R., Berger, L.L., Hoffman, W.E., Parrett, D.F., Parker, A.J. (1988). Assessment of protein and energy status of ewes. *Nutr. Rep. Intern.*, 37 (6), 1245-1254
- Orskov, E.R., McDonald, I., Grubb, D.A., Pennie, K. (1976). The nutrition of the early weaned lamb. IV. Effects on growth rate, food utilization and body composition of changing from a low to a high protein diet. *J. Agric.Sci., Cambr.*, 86, 411-423
- Owens, N., Hanson, C.F. (1992). External and internal markers for appraising site and extent of digestion in ruminants. *J. Dairy Sci.*, 75 (9), 2605-2617
- Panaretto, B.A. (1968). Estimation of body composition by the dilution of hydrogen isotopes. In: *Body composition in animals and man*. National Academy of Sciences, Washington, D.C. Proc. of a symposium held May 1967, 200-217
- Pfeffer, E., Keunicke, R. (1986). Untersuchungen über die Gehalte an Protein, Fett und Mineralstoffen wachsender Ziegen. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 54, 166-171
- Pinson, E.A. (1952). Water exchanges and barriers as studied by the use of hydrogen isotopes. *Physiol. Reviews*, 32 (2), 123-134
- Porter, S.J., Owen, M.G., Page, S.J., Fisher, A.V. (1990). Comparison of seven ultrasonic techniques for in vivo estimation of beef carcass composition with special reference to performance testing. *Anim. Prod.*, 51, 489-495
- Rakshe, P.T., Patle, B.R. (1983). Estimation and prediction of chemical composition of sheep body. *Indian J. Anim. Sci.*, 53 (3), 280-286
- Reid, J.T., Bensadoun, A., Burton, J.H., Gleeson, P.A., Han, I.K., Joo, Y.D., Johnson, D.E., McManus, W.R., Paladines, O.L., Stroud, J. W., Tyrrell, H.F., v. Niekerk, B.D.H., Wellington, G.W. (1968). Some peculiarities in the body composition of animals. In: *Body composition in animals and man*. National Academy of Sciences, Washington, D.C. Proc. of a symposium held May 1967, 19-44
- Reid, J.T., Bensadoun, A., Paladines, O.L., van Niekerk, B.D.H. (1963). Body water estimations in relation to body composition and indirect calorimetry in ruminants. *Ann. New York Acad. Sci.*, 110, 327-342
- Robelin, J. (1984). Prediction of body composition in vivo by dilution technique. In: Lister, D. (Hrsg.): *In vivo measurement of body composition in meat animals*. Elsevier Applied Science Publishers London, 106-112
- Robelin, J. (1977). Estimation in vivo de la composition corporelle des agneaux à partir de l'espace de diffusion de l'eau lourde. *Ann. Biol. Anim. Biochem. Biophys.*, 17(1), 95-105
- Robelin, J. (1973). Estimation de la composition corporelle des animaux a partir des espaces de diffusion de l'eau marquée. *Ann. Biol. Anim. Biochem. Biophys.*, 13(2), 285-305
- Robelin, J., Chilliard, Y., Agabriel, J. (1989). Estimation of body lipids and proteins of Holstein, Charolaise and Limousine cows by dilution technique and adipose cell size. In: Honing, Y. v.d. (Hrsg.): *Energy metabolism of farm animals*. EAAP-Publikation Nr. 43. Pudoc Wageningen, 370-373

- Rule, D.C., Arnold, R.N., Hentges, E.J., Beitz, D.C. (1986). Evaluation of urea dilution as a technique for estimating body composition of beef steers in vivo: validation of published equations and comparison with chemical composition. *J. Anim. Sci.*, 63, 1935-1948
- Santucci, P.M., Branca, A., Napoleone, M., Bouche, R., Aumont, G., Poisot, F., Alexandre, G. (1991). Body condition scoring on goats in extensive conditions. In: Morand-Fehr, P. (Hrsg.): *Goat nutrition*. EAAP-Publikation Nr. 46. Pudoc Wageningen, 240-255
- Sanz Sampelayo, M.R., Munoz, F.J., Lara, L., Gil Extremera, F., Boza, J. (1987). Factors affecting pre- and post-weaning growth and body composition in kid goats of the Granadina breed. *Anim. Prod.*, 45, 233-238
- Sanz Sampelayo, M.R., Ruiz, I., Gil, F., Boza, J. (1990). Body composition of goat kids during sucking. Voluntary feed intake. *Br. J. Nutr.*, 64, 611-617
- Schmidely, P., Robelin, J., Bas, P. (1989). Comparaison de différentes méthodes d'interprétation de la prédiction de l'eau corporelle par la méthode de dilution de l'eau lourde: application chez le chevreau mâle. *Réprod. Nutr. Dévelop.*, 29, 487-494
- Schulz, E., Oslage, H.J., Daenicke, R. (1974). Untersuchungen über die Zusammensetzung der Körpersubstanz sowie den Stoff- und Energieansatz bei wachsenden Mastbullen. In: Breirem, K., Brüggemann, J., Lenkeit, W., Schürch, A., Wöhlbier, W. (Hrsg.): *Fortschritte in der Tierphysiol. und Tierern.*, Vol. 4, Verlag Paul Parey, 6
- Searle, T.W. (1970a). Body composition in lambs and young sheep and its prediction in vivo from tritiated water space and body weight. *J. Agric. Sci., Cambr.*, 74, 357-362
- Searle, T.W. (1970b). Prediction of body composition of sheep from tritiated water space and body weight - tests of published equations. *J. Agric. Sci., Cambr.*, 75, 497-500
- Searle, T.W., Graham, N.McC. (1972). Comparisons of body composition and energy utilization between Merino and fixed halfbred (Border Leicester x Merino) wethers. *Aust. J. Agric. Res.*, 23 (2), 339-346
- Searle, T.W., Graham, N.McC., Griffiths, D.A., Margan, D.E. (1988). Longitudinal studies of body composition during growth in male, female and castrate male sheep of two breeds with different wool growing capabilities. *J. Agric. Sci., Cambr.*, 110, 239-247
- Searle, T.W., Griffiths, D.A. (1983). Equations for postnatal chemical composition of the fat-free empty body of sheep and cattle. *J. Agric. Sci., Cambr.*, 100, 693-699
- Searle, T.W., Griffiths, D.A. (1976). The body composition of growing sheep during milk feeding, and the effect on body composition of weaning at various body weights. *J. Agric. Sci.*, 86, 483-493
- Shebaita, M.K. (1975). The validity of whole body counter for body composition study. *World Rev. Anim. Prod.*, 11 (4), 83-95
- Sheng, H.-P., Huggings, R.A. (1979). A review of body composition studies with emphasis on total body water and fat. *Am. J. Clin. Nutr.*, 32, 630-647
- Simm, G. (1987). Carcass evaluation in sheep breeding programmes. In: Marai, I.F.M., Owen, J.B. (Hrsg.): *New techniques in sheep production*. Butterworths London, 125-144

- Sørensen, M.T. (1992). In vivo prediction of goat body composition by computer tomography. *Anim. Prod.*, 54, 67-73
- Strube, J., Schülke, B. (1980). Zu Beziehungen zwischen Gesamtkörperwasser, Wachstumsintensität und Tritiumaustausch. *Archiv für Tierernährung*, 30, 147-152
- Susenbeth, A. (1984). Berechnung der Körperzusammensetzung von Schweinen aus dem mit Hilfe von D₂O bestimmten Körperwasser. Dissertation, Inst. für Tierernährung, Universität Hohenheim
- Teixeira, A., Delfa, R., Colomer-Rocher, F. (1989). Relationships between fat depots and body condition score or fat tailness in the Rasa Aragonesa breed. *Anim. Prod.*, 49, 275-280
- Theriez, M., Villette, Y., Castrillo, C. (1982). Influence of metabolizable energy content of the diet and of feeding level on lamb performances. I. Growth and body composition. *Livestock Prod. Sci.*, 9, 471-485
- Trigg, T.E., Domingo, E.A., Topps, J.H. (1978). A comparison of three different isotopic methods for measuring body components of sheep. *J. Sci., Food and Agricult.*, 29, 1007-1016
- Ullrich, K.J. (1985). Wasserhaushalt. In: Keidel, W.D. (Hrsg.): *Kurzgefaßtes Lehrbuch der Physiologie*. G. Thieme Verlag, 6. Auflage, 11.1-11.12
- Van Loan, M.D., Segal, K.R., Bracco, E.F., Mayclin, P., van Itallie, T.B. (1987). TOBEC methodology for body composition assessment: a cross-validation study. *Am. J. Clin. Nutr.*, 46, 9-12
- Vangen, O. (1989). X-Ray CT for body composition. In: Kallweit, E., Henning, M., Groeneveld, E. (Hrsg.): *Application of NMR techniques on the body composition of live animals*. Elsevier Applied Science Publishers Barking, 91-99
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (1988). Bassler, R., Naumann, C. (Hrsg.): *Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. Handbuch der landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (Methodenbuch)*, Bd. 3. VDLUFA-Verlag Darmstadt
- Viljoen, J., Coetzee, S.E., Meissner, H.H. (1988). In vivo prediction of body composition in Boer goat does by means of the tritiated water space technique. *J. Anim. Sci.*, 18 (2), 63-67
- Walker, D.M. (1986). Body composition of animals during sucking and the immediate post-weaning period. *Proc. Nutr. Soc.*, 45, 81-89
- Warmington, B.G., Kirton, A.H. (1990). Genetic and non-genetic influences on growth and carcass traits of goats. *Small Ruminant Res.*, 3, 147-165
- Wiedemann, F. (1984). Zur in vivo-Bestimmung des Ganzkörperwassergehaltes bei Rindern mit Pyrazolonderivaten. Diplomarbeit, Humboldt-Universität zu Berlin
- Williams, C.B., Keele, J.W., Waldo, D.R. (1992). A computer model to predict empty body weight in cattle from diet and animal characteristics. *J. Anim. Sci.*, 70, 3215-3222

Anhang

Einzeldaten der untersuchten Tiere

Daten der 1. Versuchsperiode

Tiernummer	Geschlecht	Tiergruppe	Durchschnittl. Energieaufnahme (MJ ME)		Durchschnittl. Trockenmasseaufnahme (g)		Geburtsgewicht
			pro Tag	pro Tag + kg LM ^{0,75}	pro Tag	pro Tag + kg LM ^{0,75}	Masse (kg)
601	weiblich	4	4,57	,87	307,58	49,49	2,40
602	weiblich	2	2,73	,76	88,63	29,31	2,60
603	männlich	5	5,24	,84	287,23	48,18	2,60
607	weiblich	2	2,58	,70	210,81	45,40	3,90
608	männlich	5	5,22	,82	176,72	39,43	2,90
609	männlich	1	2,21	,79	306,13	53,68	2,70
610	weiblich	3	3,77	,85	85,99	30,96	2,10
612	weiblich	4	4,47	,88	96,80	35,73	1,80
614	männlich	1	2,14	,84	115,37	31,06	2,40
615	männlich	1	2,05	,76	378,84	56,40	3,00
616	männlich	1	2,02	,68	108,27	28,22	3,00
634	männlich	5	5,05	,80	147,81	35,52	3,70
636	weiblich	4	4,51	,81	112,25	25,65	3,50
637	weiblich	4	4,67	,82	388,81	54,35	3,80
640	männlich	1	2,29	,85	378,19	54,82	2,70
642	Zwitter	2	2,74	,66	301,07	53,22	5,00
644	männlich	5	5,35	,81	211,19	41,77	4,20
646	männlich	5	5,77	,90	184,60	37,06	3,50
650	männlich	4	4,45	,83	418,06	59,37	2,80
653	männlich	3	3,49	,82	82,45	28,14	2,70
654	Zwitter	3	3,13	,79	77,63	22,47	1,90
655	männlich	3	3,94	,82	357,88	51,37	4,40
656	männlich	3	3,61	,76	297,80	49,07	4,30

Daten der 1. Versuchsperiode (Fortsetzung)

Tiernummer	Leerkörpermasse	Zusammensetzung des Leerkörpers ^a (%)				
		Wassergehalt	Proteingehalt	Fettgehalt	Aschegehalt	“Restgehalt”
601	10,612	65,71	17,80	12,52	3,90	0,08
602	5,554	71,17	16,81	8,26	3,64	0,12
603	13,272	66,97	17,92	10,97	3,90	0,25
607	5,589	72,74	17,02	6,08	4,11	0,05
608	13,499	68,84	18,61	8,68	3,97	-0,10
609	3,659	73,14	16,34	6,63	3,35	0,54
610	8,187	67,74	17,32	10,98	3,69	0,28
612	9,584	66,58	18,00	11,09	4,22	0,12
614	3,462	73,20	15,52	7,36	3,36	0,56
615	3,353	74,11	16,15	6,10	3,44	0,20
616	3,192	74,44	16,67	5,06	3,51	0,33
634	13,227	65,94	17,78	12,82	3,74	-0,28
636	10,332	69,14	16,69	10,49	3,72	-0,04
637	10,732	64,32	17,40	14,64	3,85	-0,21
640	3,108	74,24	16,40	5,47	3,47	0,42
642	5,814	72,46	17,81	5,92	4,16	-0,35
644	12,747	70,10	17,21	8,84	3,81	0,04
646	13,237	66,38	17,70	11,91	3,94	0,07
650	10,522	71,62	17,65	6,82	3,80	0,11
653	8,111	71,68	17,59	6,91	3,73	0,09
654	7,807	68,47	17,29	10,51	3,74	-0,01
655	8,094	73,04	18,19	4,77	4,09	-0,09
656	7,703	72,94	17,67	5,57	3,76	0,05

a = ohne Kopf, Fell und Füße

Daten der 1. Versuchsperiode (Fortsetzung)

Tier- nummer	Leerkörpermasse	Zusammensetzung des fettfreien Leerkörpers ^a (%)				Chymus	
		Wassergehalt	Proteingehalt	Aschegehalt	“Restgehalt”	Masse (kg)	Wassergehalt (%)
	(fettfrei; kg) ^a						
601	9,284	75,11	20,34	4,46	,09	2,492	87,46
602	5,095	77,58	18,33	3,97	,13	,969	86,73
603	11,817	75,22	20,13	4,38	,28	4,203	87,04
607	5,249	77,45	18,12	4,38	,05	,986	88,95
608	12,327	75,39	20,38	4,34	-,11	3,538	89,24
609	3,416	78,33	17,50	3,59	,58	,388	79,93
610	7,288	76,09	19,45	4,15	,31	1,903	90,34
612	8,521	74,88	20,24	4,75	,13	2,839	89,30
614	3,207	79,02	16,75	3,63	,61	,413	80,48
615	3,148	78,93	17,20	3,67	,21	,385	86,17
616	3,031	78,41	17,56	3,69	,34	,339	83,80
634	11,532	75,63	20,40	4,29	-,32	3,373	88,28
636	9,248	77,24	18,65	4,16	-,04	2,858	89,37
637	9,161	75,36	20,39	4,50	-,25	2,514	85,05
640	2,938	78,54	17,35	3,67	,44	,316	79,66
642	5,470	77,02	18,93	4,42	-,37	,729	88,75
644	11,620	76,90	18,88	4,18	,04	4,159	88,66
646	11,661	75,36	20,09	4,47	,08	3,479	87,72
650	9,804	76,86	18,94	4,07	,12	3,072	85,80
653	7,551	77,00	18,90	4,00	,10	2,639	82,78
654	6,986	76,51	19,32	4,18	-,01	2,372	90,49
655	7,708	76,70	19,10	4,29	-,09	1,842	89,02
656	7,274	77,24	18,72	3,98	,06	2,687	83,17

a = ohne Kopf, Fell und Füße

Daten der 1. Versuchsperiode (Fortsetzung)

Tier- nummer	Ganzkörper bei Schlachtung (mit Kopf, Fell, Füßen)	Kopf, Fell, Füße	Ganzkörper bei Schlachtung (ohne Kopf, Fell, Füße)		Lebendmasse (kg) zum Zeitpunkt der ... Injektion				
	Masse (kg)	Masse (kg)	Masse (kg)	Wassergehalt (%)	1.	2.	3.	4.	5.
601	15,709	2,605	13,104	69,85	5,00	8,40	12,40	16,50	
602	7,998	1,475	6,523	73,48	5,30	8,20			
603	20,598	3,123	17,475	71,80	5,40	8,70	12,70	16,00	21,00
607	8,108	1,533	6,575	75,17	5,50	8,10			
608	20,435	3,398	17,037	73,20	5,20	9,10	12,10	16,30	21,30
609	5,246	1,199	4,047	73,96	5,00				
610	12,180	2,090	10,090	72,00	4,60	8,60	12,40		
612	14,826	2,403	12,423	71,77	4,50	8,30	12,00	15,50	
614	4,908	1,033	3,875	73,99	4,70				
615	4,805	1,067	3,738	75,36	4,70				
616	4,609	1,078	3,531	75,33	4,50				
634	19,590	2,990	16,600	70,48	5,20	8,10	12,20	15,90	20,40
636	15,750	2,560	13,190	73,51	5,00	8,10	12,10	16,30	
637	16,013	2,767	13,246	68,25	5,00	8,40	12,10	16,10	
640	4,511	1,087	3,424	74,74	4,50				
642	8,218	1,675	6,543	73,97	5,00	8,20			
644	20,055	3,149	16,906	74,66	4,70	8,20	12,10	17,00	20,50
646	20,072	3,356	16,716	70,83	4,80	8,60	12,20	16,90	21,00
650	16,166	2,572	13,594	74,82	5,00	8,40	12,60	16,90	
653	12,833	2,083	10,750	74,41	5,00	8,00	12,20		
654	12,201	2,022	10,179	73,59	4,60	8,30	12,50		
655	12,005	2,069	9,936	76,01	5,00	8,00	12,30		
656	12,433	2,043	10,390	75,58	4,60	8,50	12,10		

Daten der 1. Versuchsperiode (Fortsetzung)

Tiernummer	Alter (in Tagen) bei der ... Injektion					Injizierte D ₂ O-Dosis (g) bei der ... Injektion				
	1.	2.	3.	4.	5.	1.	2.	3.	4.	5.
601		49	71	101			5,7858	8,5369	11,4333	
602		43					5,5132			
603		43	59	81	106		6,0512	8,7035	11,0490	14,5546
607		34					5,6961			
608		44	62	85	109		6,2347	8,3523	11,1987	14,7480
609	19					3,2265				
610	24	49	73			2,9204	5,9516	8,5961		
612	23	51	75	108		2,9059	5,6302	8,2569	10,6860	
614	18					2,9610				
615	17					2,8247				
616	17					2,8279				
634		36	63	87	106		5,5206	8,3888	10,9709	14,1206
636		41	66	93			5,5773	8,3177	11,2571	
637		41	66	93			5,8310	8,3068	11,1392	
640	15					2,7810				
642		29					5,3950			
644		35	54	77	97		5,6523	8,3200	11,7696	14,1983
646	13	38	56	81	103	2,9406	5,9290	8,3922	10,6807	14,6495
650	16	44	65	88		2,9965	5,7370	8,6724	11,6813	
653	21	41	68			3,0118	5,4500	8,4544		
654	27	59	92			3,0890	5,6690	10,6800		
655	9	28	49			3,1296	5,4852	8,4654		
656	9	34	61			3,0099	5,8400	8,3250		

Daten der 1. Versuchsperiode (Fortsetzung)

Tiernummer	D ₂ O-Konzentration (ppm) im Blutwasser bei der ... Injektion					Absolute Über-/Unterschätzung (%) des Ganzkörperwassergehaltes	Relative Über-/Unterschätzung (%) des Ganzkörperwassergehaltes
	1.	2.	3.	4.	5.		
						mittels D ₂ O	mittels D ₂ O
601		950	989	999		-,48	-,69
602		950				-2,73	-3,72
603		923	1001	979	995	-2,04	-2,84
607		936				,06	,08
608		936	1004	970	972	-2,04	-2,79
609	833					3,55	4,80
610	852	928	966			-,11	-,15
612	881	924	970	973		-,70	-,98
614	823					2,58	3,49
615	796					,17	,23
616	835					-,09	-,12
634		943	952	956	1025	-2,92	-4,14
636		922	932	961		-1,60	-2,18
637		969	988	1031		-1,12	-1,64
640	830					-,24	-,32
642		895				-,44	-,59
644		920	976	954	988	-4,42	-5,92
646	803	939	984	877	1011	-1,71	-2,41
650	807	902	937	969		-3,62	-4,84
653	792	858	937			-,36	-,48
654	874	916	1167			-,15	-,20
655	775	915	942			-2,94	-3,87
656	861	906	928			-1,31	-1,73

Daten der 1. Versuchsperiode (Fortsetzung)

Tiernummer	Ganzkörperwassergehalt (%) mittels D ₂ O bei der ... Injektion (ohne Korrektur um D ₂ O-Verluste im KHG)					Ganzkörperwassergehalt (%) mittels D ₂ O bei der ... Injektion (mit Korrektur um D ₂ O-Verluste im KHG)			
	1.	2.	3.	4.	5.	2.	3.	4.	5.
601		72,48	69,61	69,36		72,58	69,65	69,37	
602		70,79				70,75			
603		75,36	68,46	70,54	69,64	75,44	68,18	71,14	69,76
607		75,13				75,23			
608		73,24	68,79	70,83	71,22	73,20	68,87	70,81	71,16
609	77,51								
610	74,56	74,59	71,80			75,20	71,89		
612	73,30	73,45	70,97	70,87		73,78	71,21	71,07	
614	76,57								
615	75,53								
616	75,24								
634		72,31	72,23	72,16	67,53	72,37	72,24	72,16	67,56
636		74,72	73,80	71,88		74,82	74,01	71,91	
637		71,66	69,50	67,12		71,70	69,61	67,13	
640	74,50								
642		73,53							
644		74,94	70,47	72,55	70,08	75,00	70,46	72,45	70,24
646	76,27	73,40	69,91	72,04	68,98	73,50	69,94	72,10	69,12
650	74,24	75,74	73,48	71,33		75,82	73,33	71,20	
653	76,08	79,38	74,00			79,46	74,05		
654	76,83	74,56	73,23			74,66	73,44		
655	80,74	74,93	73,06			75,05	73,07		
656	76,04	75,83	74,14			76,07	74,27		

Daten der 1. Versuchsperiode (Fortsetzung)

Tiernummer	KHG-Masse bei der ... Injektion				D ₂ O-Konzentration (ppm) im KHG-Wasser bei der ... Injektion				D ₂ O-Masse (g) im KHG-Wasser bei der ... Injektion			
	2.	3.	4.	5.	2.	3.	4.	5.	2.	3.	4.	5.
601	110,40	110,15	171,26		653	764	842		0,0682	0,0715	0,1181	
602	95,61				763				0,0674			
603	97,30	250,58	341,12	352,04	681	888	445	728	0,0611	0,2075	0,1426	0,2194
607	105,16				678				0,0666			
608	93,78	133,34	177,74	194,63	746	716	805	861	0,0672	0,0815	0,1247	0,1467
609												
610	185,40	169,43			478	707			0,0812	0,1068		
612	81,94	169,61	161,68		410	601	582		0,0308	0,0891	0,0818	
614												
615												
616												
634	88,48	101,08	146,01	188,66	671	782	871	776	0,0561	0,0685	0,0999	0,1242
636	83,85	182,45	110,89		619	614	786		0,0503	0,1019	0,0727	
637	116,27	30,79	96,31		689	495	842		0,0768	0,0082	0,0652	
640												
642												
644	48,45	155,41	324,33	271,34	640	773	836	690	0,0290	0,1085	0,2415	0,1565
646	110,78	144,35	179,57	203,59	659	770	680	690	0,0683	0,0953	0,1045	0,1133
650	113,69	186,26	316,72		683	849	845		0,0718	0,1450	0,2393	
653	39,33	102,80			595	754			0,0209	0,0653		
654	18,89	58,93			610	459			0,0057	0,0203		
655	55,39	79,97			549	780			0,0295	0,0545		
656	141,27	110,26			630	647			0,0793	0,0616		

Daten der 2. Versuchsperiode

Tiernummer	Geschlecht	Tiergruppe	Durchschnittl. Energieaufnahme (MJ ME)		Durchschnittl. Trockenmasseaufnahme (g)		Geburtsgewicht
			pro Tag	pro Tag + kg LM ^{0,75}	pro Tag	pro Tag + kg LM ^{0,75}	Masse (kg)
806	männlich	5	5,64	,87	396,02	53,64	4,50
810	weiblich	3	3,27	,75	140,94	29,32	2,50
811	weiblich	4	4,59	,87	277,24	44,97	2,90
812	weiblich	4	4,78	,89	297,38	47,19	3,30
813	weiblich	5	5,46	,89	377,30	53,22	3,60
814	weiblich	4	4,16	,79	242,99	39,78	3,40
815	männlich	2	2,83	,82	98,85	26,91	3,20
829	weiblich	5	5,47	,92	379,55	55,13	3,10
830	weiblich	4	4,36	,86	259,35	44,37	3,30
831	weiblich	5	5,28	,90	362,00	52,87	3,30
832	weiblich	3	3,64	,80	159,64	31,63	3,10
834	weiblich	3	3,86	,84	179,85	35,21	3,20
835	weiblich	3	3,41	,79	150,51	31,51	2,80
836	weiblich	3	3,50	,81	157,27	32,86	2,90
842	männlich	5	5,37	,89	359,36	50,32	3,80
847	männlich	4	4,28	,84	251,48	42,38	3,20
850	weiblich	4	4,67	,89	287,49	47,67	3,60
851	weiblich	3	3,53	,84	153,85	33,88	3,10
859	weiblich	2	3,21	,96	110,98	31,16	2,50
862	männlich	5	5,01	,81	335,38	45,32	4,80
863	weiblich	2	3,18	,93	113,57	30,92	3,00
865	weiblich	1	2,85	1,31	95,69	39,07	2,00
866	männlich	2	3,12	,94	111,15	30,32	2,00
869	weiblich	2	3,28	,97	113,76	31,40	3,30
870	weiblich	2	3,19	,95	114,94	32,07	2,90
871	männlich	1	2,88	1,19	96,60	36,23	2,50
872	männlich	1	2,88	1,04	96,41	31,06	3,20
873	weiblich	1	2,89	1,19	96,91	35,35	2,30
874	männlich	1	2,62	1,16	87,92	34,61	1,50
876	männlich	1	2,93	1,34	98,29	41,16	1,40

Daten der 2. Versuchsperiode (Fortsetzung)

Tiernummer	Leerkörpermasse	Zusammensetzung des Leerkörpers (%)				
		Wassergehalt	Proteingehalt	Fettgehalt	Aschegehalt)	“Restgehalt”
	(kg)					
806	17,397	68,98	19,14	7,42	4,15	0,31
810	9,604	69,45	19,24	7,17	3,97	0,17
811	13,646	65,95	18,76	11,09	4,30	-0,10
812	13,849	66,33	19,01	10,67	4,33	-0,34
813	17,359	63,31	18,78	13,46	4,38	0,06
814	13,020	67,92	19,03	8,53	4,23	0,29
815	6,802	72,53	18,49	4,72	4,17	0,08
829	16,619	64,29	18,98	12,42	4,51	-0,20
830	13,141	67,00	18,59	9,98	4,28	0,14
831	16,643	64,36	18,98	12,36	4,41	-0,12
832	10,051	69,81	19,10	6,85	4,15	0,08
834	10,733	67,36	19,02	9,45	4,46	-0,29
835	10,252	68,27	18,48	8,77	3,94	0,53
836	9,774	68,48	18,71	9,04	3,99	-0,22
842	16,700	69,48	19,50	6,97	4,19	-0,15
847	13,162	70,29	19,55	5,89	4,31	-0,04
850	13,568	66,73	18,79	10,17	4,13	0,18
851	10,347	68,24	18,27	9,52	4,12	-0,15
859	6,544	69,11	18,64	7,91	4,22	0,12
862	16,903	68,98	19,13	7,37	4,43	0,08
863	6,848	68,98	19,46	7,12	4,15	0,29
865	4,040	70,03	17,55	8,80	3,60	0,02
866	6,846	70,75	18,75	6,48	4,16	-0,15
869	6,746	70,27	18,96	6,33	4,25	0,18
870	6,696	67,93	18,91	9,29	4,38	-0,50
871	4,217	71,88	17,32	6,96	3,69	0,14
872	4,293	71,75	18,27	5,78	3,97	0,23
873	4,489	71,18	17,98	6,87	3,93	0,03
874	3,897	72,30	17,17	6,82	3,79	-0,07
876	4,449	71,34	17,58	7,38	3,71	-0,02

Daten der 2. Versuchsperiode (Fortsetzung)

Tiernummer	Leerkörpermasse (fettfrei; kg)	Zusammensetzung des fettfreien Leerkörpers (%)				Chymus	
		Wassergehalt	Proteingehalt	Aschegehalt	“Restgehalt”	Masse (kg)	Wassergehalt (%)
806	16,107	74,51	20,68	4,49	0,33	3,637	86,44
810	8,915	74,82	20,72	4,27	0,19	2,780	88,79
811	12,132	74,17	21,10	4,83	-0,11	2,704	87,84
812	12,372	74,25	21,28	4,85	-0,38	2,495	87,49
813	15,022	73,16	21,71	5,06	0,07	2,956	81,46
814	11,910	74,25	20,81	4,63	0,32	2,887	86,72
815	6,481	76,13	19,41	4,37	0,08	1,580	85,84
829	14,554	73,41	21,67	5,15	-0,23	3,345	86,88
830	11,830	74,43	20,65	4,76	0,16	3,173	86,27
831	14,586	73,44	21,66	5,03	-0,13	2,633	85,28
832	9,362	74,94	20,51	4,46	0,09	2,110	86,72
834	9,719	74,39	21,00	4,92	-0,32	1,838	86,23
835	9,353	74,84	20,26	4,32	0,58	2,120	85,14
836	8,891	75,29	20,57	4,38	-0,24	2,549	85,76
842	15,536	74,68	20,97	4,51	-0,16	3,444	87,31
847	12,387	74,69	20,77	4,58	-0,04	2,999	84,97
850	12,189	74,28	20,92	4,59	0,21	2,891	84,74
851	9,362	75,42	20,19	4,56	-0,17	2,052	85,22
859	6,026	75,05	20,24	4,58	0,13	1,365	86,65
862	15,656	74,48	20,66	4,78	0,08	4,143	85,17
863	6,360	74,27	20,95	4,47	0,31	1,438	87,27
865	3,685	76,78	19,24	3,95	0,03	0,345	88,77
866	6,402	75,66	20,05	4,45	-0,16	1,430	85,59
869	6,319	75,02	20,24	4,54	0,20	1,310	87,10
870	6,074	74,89	20,84	4,82	-0,56	1,218	87,98
871	3,924	77,26	18,62	3,97	0,15	0,536	88,83
872	4,045	76,15	19,39	4,21	0,25	0,328	88,50
873	4,181	76,44	19,31	4,22	0,04	0,358	87,75
874	3,631	77,59	18,43	4,06	-0,08	0,499	86,51
876	4,121	77,03	18,99	4,00	-0,02	0,452	85,79

Daten der 2. Versuchsperiode (Fortsetzung)

Tiernummer	Ganzkörper bei Schlachtung		Lebendmasse (kg) zum Zeitpunkt der ... Injektion				
	Masse (kg)	Wassergehalt (%)	1.	2.	3.	4.	5.
806	21,034	72,00	5,25	9,05	12,55	16,65	21,70
810	12,384	73,79	5,30	8,70	13,15		
811	16,350	69,57	4,90	8,70	12,55	16,70	
812	16,344	69,56	5,30	8,70	12,30	16,50	
813	20,315	65,95	5,40	8,55	12,45	17,00	20,25
814	15,907	71,33	5,35	8,40	12,75	16,10	
815	8,382	75,04		8,55			
829	19,964	68,08	5,15	8,70	12,50	16,65	20,60
830	16,314	70,75	5,05	8,70	12,45	16,75	
831	19,276	67,22	5,00	8,60	12,65	17,00	19,40
832	12,161	72,74	5,45	8,75	12,50		
834	12,571	70,12	5,20	8,75	12,75		
835	12,372	71,16	5,00	8,95	12,95		
836	12,323	72,06	4,90	8,25	12,45		
842	20,144	72,53	5,35	8,95	12,25	17,80	20,85
847	16,161	73,01	5,10	8,55	12,50	16,60	
850	16,459	69,89	4,90	8,45	12,60	16,75	
851	12,399	71,05	4,85	8,45	12,35		
859	7,909	72,14	4,95	8,05			
862	21,046	72,19	5,05	8,90	13,05	17,10	21,65
863	8,286	72,15	4,70	8,50			
865	4,385	71,50	4,65				
866	8,276	73,32	4,60	8,30			
869	8,056	73,01	4,80	8,20			
870	7,914	71,02	5,00	8,05			
871	4,753	73,80	4,85				
872	4,621	72,94	4,85				
873	4,847	72,41	5,20				
874	4,396	73,91	4,50				
876	4,901	72,68	5,10				

Daten der 2. Versuchsperiode (Fortsetzung)

Tiernummer	Alter (in Tagen) bei der ... Injektion					Injizierte D ₂ O-Dosis (g) bei der ... Injektion				
	1.	2.	3.	4.	5.	1.	2.	3.	4.	5.
806	9	30	51	69	95	3,5378	6,2394	8,7402	11,5952	15,1227
810	19	45	89			3,6381	5,9988	9,1553		
811	15	43	71	96		3,3390	6,0181	8,7432	11,6390	
812	15	43	68	96		3,6601	6,0350	8,5606	11,5006	
813	14	36	67	91	114	3,7023	5,8714	8,6764	11,8347	14,1264
814	14	38	72	98		3,6789	5,8147	8,8857	11,2117	
815		46					5,9419			
829	16	44	70	91	112	3,4367	6,0538	8,7098	11,5445	14,3756
830	16	44	72	93		3,2979	6,0501	8,6655	11,6747	
831	11	39	67	90	111	3,4512	5,8501	8,8096	11,9059	13,5477
832	15	41	74			3,6638	6,0576	8,7136		
834	15	41	74			3,5792	6,0819	8,8634		
835	15	48	85			3,4396	6,2150	9,0168		
836	15	46	78			3,2451	5,7399	8,6649		
842	10	34	56	75	89	3,6802	6,2303	8,5392	12,4072	14,5424
847	13	39	67	90		3,4806	5,9209	8,7031	11,5558	
850	12	40	68	92		3,3576	5,8771	8,7863	11,6570	
851	12	43	71			3,2366	5,8872	8,5998		
859	16	44				3,3904	5,5980			
862	5	35	63	79	98	3,4811	6,1861	9,0816	11,9121	15,0766
863	13	48				3,2474	5,9183			
865	20					3,1852				
866	12	40				3,1382	5,7569			
869	11	39				3,2921	5,6905			
870	16	48				3,4278	5,5944			
871	22					3,3216				
872	17					3,3422				
873	22					3,5878				
874	32					3,0894				
876	28					3,5266				

Daten der 2. Versuchsperiode (Fortsetzung)

[illegible]

Daten der 2. Versuchsperiode (Fortsetzung)

Tier- nummer	Relative Überschätzung (%) des Ganz- körperwassergehaltes mittels D ₂ O	Ganzkörperwassergehalt (%) mittels D ₂ O bei der ... Injektion (ohne Korrektur um D ₂ O-Verluste im KHG)				
		1.	2.	3.	4.	5.
806	5,12	75,03	76,29	77,20	77,06	75,62
810	3,69	73,78	74,48	76,80		
811	4,05	74,61	73,33	74,03	72,52	
812	4,90	72,42	74,61	74,73	72,93	
813	4,69	85,13	74,12	74,43	73,66	69,06
814	4,60	75,58	74,37	75,35	74,57	
815	2,96		77,20			
829	5,20	79,72	73,68	75,63	73,29	71,79
830	3,92	75,62	73,55	75,44	73,63	
831	4,49	80,00	71,86	72,03	72,01	70,40
832	3,92	75,37	74,88	75,59		
834	5,38	76,27	66,84	73,79		
835	3,98	71,51	75,93	74,26		
836	3,37	76,67	74,93	74,49		
842	3,46	76,23	76,51	77,98	76,43	75,13
847	4,71	76,59	77,42	78,97	76,55	
850	4,45	80,36	75,20	74,46	73,38	
851	5,26	78,37	75,70	74,78		
859	4,92	80,31	75,36			
862	4,09	74,92	73,56	78,46	77,19	75,37
863	3,28	76,82	74,61			
865	1,02	72,23				
866	3,94	76,25	76,29			
869	3,52	73,74	75,56			
870	4,98	71,86	74,02			
871	4,40	77,05				
872	3,41	75,43				
873	-1,06	71,64				
874	6,87	78,99				
876	2,05	74,17				

Daten der 2. Versuchsperiode (Fortsetzung)

Tier- nummer	Ganzkörperwassergehalt (%) mittels D ₂ O bei der ... Injektion (mit Korrektur um D ₂ O-Verluste im KHG)				Ganzkörperwassergehalt (%) mittels D ₂ O bei der ... Injektion (ohne Berücksichtigung der Blindwerte)			
	2.	3.	4.	5.	2.	3.	4.	5.
806	76,38	77,19	76,99	75,69	74,12	72,75	69,59	72,38
810	74,52	76,51			73,23	75,62		
811	74,40	74,25	72,39		72,40	71,90	68,60	
812	74,73	74,74	72,97		73,41	71,68	70,20	
813	74,24	74,41	73,52	69,04	72,50	72,47	70,21	66,29
814	74,33	75,35	74,61		72,83	73,88	70,47	
815	77,26				76,22			
829	73,73	75,64	73,39	71,62	72,58	72,79	69,82	69,55
830	73,57	75,69	73,52		72,60	73,41	69,55	
831	71,81	71,98	71,89	70,24	70,73	70,07	69,16	67,60
832	74,78	75,59			73,61	74,00		
834	66,88	73,89			65,94	72,43		
835	75,83	73,99			75,02	73,22		
836	75,08	74,49			74,04	73,19		
842	76,45	78,16	76,46	75,04	75,02	73,76	72,17	68,17
847	77,47	78,83	76,45		76,04	76,35	72,52	
850	75,18	74,51	73,00		74,24	72,51	43,32	
851	75,72	74,79			74,68	72,87		
859	75,69				74,40			
862	73,53	78,49	77,13	75,14	72,57	75,70	65,87	71,08
863	74,52				73,67			
865								
866	76,21				75,23			
869	75,58				74,34			
870	74,56				73,18			
871								
872								
873								
874								
876								

Daten der 2. Versuchsperiode (Fortsetzung)

Tier- nummer	Theoretischer Ganzkörperwassergehalt (%) mit- tels D₂O bei gleichmäßiger Markerverteilung	Theoretische D₂O-Konzentration (ppm) im Blut- wasser bei gleichmäßiger Markerverteilung	D₂O-Konzentration (ppm) im Chymuswas- ser
806	76,24	955	926
810	77,71	910	882
811	73,10	1008	979
812	73,81	981	933
813	69,36	1048	1028
814	75,43	977	940
815	79,80	882	776
829	72,99	987	928
830	74,86	987	937
831	70,67	1029	1011
832	76,53	931	887
834	75,14	943	866
835	74,92	943	911
836	75,01	944	924
842	75,71	1016	989
847	77,15	953	927
850	73,95	1599	1572
851	75,09	952	936
859	76,43	922	872
862	75,59	977	968
863	76,08	927	859
865	72,67	943	889
866	77,82	904	833
869	76,99	917	846
870	74,70	941	905
871	77,57	883	845
872	75,68	911	879
873	72,04	958	903
874	79,13	871	881
876	75,14	920	823

Daten der 2. Versuchsperiode (Fortsetzung)

Tier- nummer	D ₂ O-Masse (g) im Chymuswasser	KHG-Masse (g) bei der ... Injektion			
		2.	3.	4.	5.
806	2,9120	52,90	84,69	173,18	291,96
810	2,1761	21,41	300,92		
811	2,3264	145,31	134,76	237,01	
812	2,0367	104,25	209,57	130,97	
813	2,4750	23,68	109,39	262,17	251,24
814	2,3521	59,80	101,96	68,28	
815	1,0519	36,44			
829	2,6982	137,15	205,25	157,20	565,05
830	2,5641	78,77	169,74	298,20	
831	2,2710	61,30	83,79	367,47	249,31
832	1,6238	81,44	78,79		
834	1,3724	18,66	101,43		
835	1,6441	104,16	271,66		
836	2,0206	24,78	206,48		
842	2,9736	95,20	247,73	232,50	255,72
847	2,3630	29,51	194,89	137,90	
850	3,8519	31,41	117,15	231,60	
851	1,6382	67,33	248,18		
859	1,0315	108,26			
862	3,4162	38,89	299,88	268,27	330,36
863	1,0780	69,84			
865	0,2724				
866	1,0200	37,16			
869	0,9653	42,22			
870	0,9701	72,26			
871	0,4022				
872	0,2552				
873	0,2838				
874	0,3803				
876	0,3190				

Daten der 2. Versuchsperiode (Fortsetzung)

Tier- nummer	D ₂ O-Konzentration (ppm) im KHG-Wasser bei der ... Injektion				D ₂ O-Menge (g) im KHG-Wasser bei der ... Injektion			
	2.	3.	4.	5.	2.	3.	4.	5.
806	596	854	910	712	0,0293	0,0599	0,1313	0,1885
810	788	865			0,0113	0,2442		
811	106	556	879		0,0142	0,0679	0,1854	
812	679	760	793		0,0632	0,1444	0,0839	
813	366	844	847	884	0,0060	0,0783	0,2053	0,1797
814	820	872	719		0,0442	0,0714	0,0416	
815	758				0,0206			
829	672	786	791	846	0,0907	0,1421	0,0928	0,4273
830	731	578	850		0,0538	0,0895	0,2248	
831	790	880	814	948	0,0463	0,0654	0,2769	0,2047
832	892	832			0,0646	0,0550		
834	1050	707			0,0950	0,0584		
835	889	881			0,0805	0,2208		
836	222	790			0,0052	0,1436		
842	834	685	772	885	0,0705	0,1531	0,1573	0,1962
847	648	873	883		0,0166	0,1510	0,1112	
850	780	788	1365		0,0240	0,0760	0,2209	
851	831	789			0,0423	0,1717		
859	502				0,0509			
862	825	776	911	887	0,0295	0,2053	0,1955	0,2755
863	817				0,0557			
865								
866	872				0,0319			
869	799				0,0277			
870	147				0,0099			
871								
872								
873								
874								
876								

Zusammensetzung der verwendeten Futtermittel

Zusammensetzung und Energiegehalt der Ziegenvollmilch der 2. Versuchsperiode

Monat	Fettgehalt	Proteingehalt	Energiegehalt
	%; $\bar{x} \pm s$	%; $\bar{x} \pm s$	MJ/kg ^{ab}
Februar	5,22 ± 2,04	3,33 ± 1,26	3,58
März	3,59 ± 0,99	2,81 ± 0,83	2,82
April	2,84 ± 1,08	2,62 ± 0,80	2,48

a: Für die Berechnung wurde ein mittlerer Laktosegehalt von 4,5 % angenommen (Gall, 1982); b: 39 kJ/ g Fett, 22,6 kJ/ g Protein, 17,6 kJ/ g Laktose (Menke/Huss, 1987)

Zusammensetzung des Mischfutters und des Gerstenstrohs

Parameter	Mischfutter (n = 26)	Gerstenstroh (n = 19)
	$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$
Trockensubstanzgehalt (TS, %)	88,28 ± 0,82	90,31 ± 1,24
Organische Substanz (%) i. d. TS	91,14 ± 0,33	92,58 ± 1,75
Rohaschegehalt (%) i. d. TS	8,86 ± 0,33	7,42 ± 1,75
Rohproteingehalt (%) i. d. TS	20,96 ± 0,56	3,43 ± 0,73
Rohfettgehalt (%) i. d. TS	3,08 ± 0,28	0,80 ± 0,09
Rohfasergehalt (%) i. d. TS	8,44 ± 0,38	44,52 ± 1,46
NfE-Gehalt (%) i. d. TS	58,51 ± 1,32	43,89 ± 1,32

Mischfutter laut Deklaration der Herstellerfirma Ströh, Pansdorf

Bezeichnung des Mischfutters:

Holstenstolz Lämmerkorn, Alleinfutter für Mastlämmer, Type 46

Inhaltsstoffe pro kg Mischfutter (Frischsubstanz):

18,0 % Rohprotein

3,0 % Rohfett

8,0 % Rohfaser

8,0 % Rohasche

1,1 % Calcium

0,6 % Phosphor

0,5 % Natrium

Energiestufe 2 = 6,4 MJ NEL = 620 STE

Ergänzende Tabellen

Tabellen zu Abschnitt 4.1

Tabelle 1a: Tägliche Energieaufnahme aus Milch

Wachstumsabschnitt	1. Versuchsperiode		2. Versuchsperiode	
	Tierzahl	MJ ME; $\bar{x} \pm s$	Tierzahl	MJ ME; $\bar{x} \pm s$
1 (Geburt bis 4 - 5 kg)	23	2,25 \pm 0,59	30	2,98 \pm 0,71
2 (4 - 5 bis 8 - 9 kg)	18	2,82 \pm 0,13	24	3,45 \pm 0,34
3 (8 - 9 bis 12 - 13 kg)	15	2,84 \pm 0,09	18	2,87 \pm 0,29
4 (12 - 13 bis 16 - 17)	10	0,17 \pm 0,50	12	0,19 \pm 0,52
5 (16 - 17 bis 20 - 21)	5	0	6	0

Anmerkungen:

1. Für die Milch des Jahres 1993 lagen keine Untersuchungsdaten des Landeskontrollverbandes vor; es wurde daher von einem mittleren Energiegehalt von 2,85 MJ ME/kg Milch ausgegangen (Gall, 1982).
2. Bezogen auf die Tage der Milchfütterung im 4. Wachstumsabschnitt betrug die tägliche Energieaufnahme für 1993: 1,42 MJ ME \pm 0,59 MJ ME 1994: 0,39 \pm 0,62 MJ ME.

Tabelle 1b: Tägliche Energieaufnahme aus Mischfutter

Wachstumsabschnitt	1. Versuchsperiode		2. Versuchsperiode	
	Tierzahl	MJ ME; $\bar{x} \pm s$	Tierzahl	MJ ME; $\bar{x} \pm s$
1 (Geburt bis 4 - 5 kg)	23	0,01 \pm 0,02	30	0
2 (4 - 5 bis 8 - 9 kg)	18	0,21 \pm 0,33	24	0
3 (8 - 9 bis 12 - 13 kg)	15	2,09 \pm 1,32	18	1,11 \pm 1,48
4 (12 - 13 bis 16 - 17)	10	6,15 \pm 1,90	12	6,54 \pm 1,74
5 (16 - 17 bis 20 - 21)	5	8,56 \pm 1,38	6	8,69 \pm 1,38

Tabelle 1c: Tägliche Energieaufnahme aus Stroh

Wachstumsabschnitt	1. Versuchsperiode		2. Versuchsperiode	
	Tierzahl	MJ ME; $\bar{x} \pm s$	Tierzahl	MJ ME; $\bar{x} \pm s$
1 (Geburt bis 4 - 5 kg)	23	0	30	0
2 (4 - 5 bis 8 - 9 kg)	18	0	24	0
3 (8 - 9 bis 12 - 13 kg)	15	0	18	0
4 (12 - 13 bis 16 - 17)	10	0,30 \pm 0,18	12	0,27 \pm 0,16
5 (16 - 17 bis 20 - 21)	5	0,43 \pm 0,13	6	0,43 \pm 0,15

Tabelle 1d: Tägliche Energieaufnahme insgesamt

Wachstumsabschnitt	1. Versuchsperiode		2. Versuchsperiode	
	Tierzahl	MJ ME; $\bar{x} \pm s$	Tierzahl	MJ ME; $\bar{x} \pm s$
1 (Geburt bis 4 - 5 kg)	23	2,25 \pm 0,60	30	2,98 \pm 0,71
2 (4 - 5 bis 8 - 9 kg)	18	3,03 \pm 0,37	24	3,45 \pm 0,34
3 (8 - 9 bis 12 - 13 kg)	15	4,93 \pm 2,33	18	3,98 \pm 1,43
4 (12 - 13 bis 16 - 17)	10	6,62 \pm 1,75	12	7,00 \pm 1,55
5 (16 - 17 bis 20 - 21)	5	8,99 \pm 1,41	6	9,13 \pm 1,40

Tabellen zu Abschnitt 4.3.2**Tabelle 8a:** Zusammensetzung des fetthaltigen Leerkörpers ohne Kopf, Fell, Füße in den einzelnen Tiergruppen (n = 23; 1. Versuchsperiode)

Tiergruppe	Tierzahl	Masse	Wasser	Protein
		kg; $\bar{x} \pm s$	%; $\bar{x} \pm s$	%; $\bar{x} \pm s$
1	5	3,355 \pm 0,22	73,83 \pm 0,61	16,22 \pm 0,43
2	3	5,652 \pm 0,14	72,13 \pm 0,84	17,22 \pm 0,52
3	5	7,980 \pm 0,21	70,77 \pm 2,51	17,61 \pm 0,36
4	5	10,356 \pm 0,46	67,47 \pm 2,91	17,51 \pm 0,51
5	5	13,196 \pm 0,28	67,65 \pm 1,76	17,84 \pm 0,50

Tabelle 8a: Zusammensetzung des fetthaltigen Leerkörpers ohne Kopf, Fell, Füße in den einzelnen Tiergruppen (n = 23; 1. Versuchsperiode); Fortsetzung

Tiergruppe	Tierzahl	Fett	Asche
		%; $\bar{x} \pm s$	%; $\bar{x} \pm s$
1	5	6,12 \pm 0,91	3,42 \pm 0,07
2	3	6,75 \pm 1,31	3,97 \pm 0,29
3	5	7,75 \pm 2,85	3,80 \pm 0,16
4	5	11,11 \pm 2,88	3,90 \pm 0,19
5	5	10,64 \pm 1,84	3,87 \pm 0,09

Tabelle 8b: Zusammensetzung des fetthaltigen Leerkörpers in den einzelnen Tiergruppen (kg, %; $\bar{x} \pm s$; n = 30; 2. Versuchsperiode)

Tiergruppe	Tierzahl	Masse	Wasser	Protein
		kg; $\bar{x} \pm s$	%; $\bar{x} \pm s$	%; $\bar{x} \pm s$
1	6	4,231 \pm 0,231	71,42 \pm 0,79	17,65 \pm 0,41
2	6	6,747 \pm 0,116	69,93 \pm 1,62	18,87 \pm 0,34
3	6	10,127 \pm 0,409	68,60 \pm 0,89	18,80 \pm 0,38
4	6	13,398 \pm 0,334	67,37 \pm 1,58	18,96 \pm 0,33
5	6	16,937 \pm 0,356	66,57 \pm 2,86	19,09 \pm 0,24

Tabelle 8c: Zusammensetzung des fetthaltigen Leerkörpers in den einzelnen Tiergruppen (n = 30; 2. Versuchsperiode); Fortsetzung

Tiergruppe	Tierzahl	Fett	Asche
		%; $\bar{x} \pm s$	%; $\bar{x} \pm s$
1	6	7,10 \pm 0,99	3,78 \pm 0,14
2	6	6,98 \pm 1,55	4,22 \pm 0,09
3	6	8,47 \pm 1,16	4,11 \pm 0,19
4	6	9,39 \pm 1,92	4,26 \pm 0,08
5	6	10,00 \pm 3,04	4,35 \pm 0,14

Ergänzende Abbildungen zu Abschnitt 4.3.2

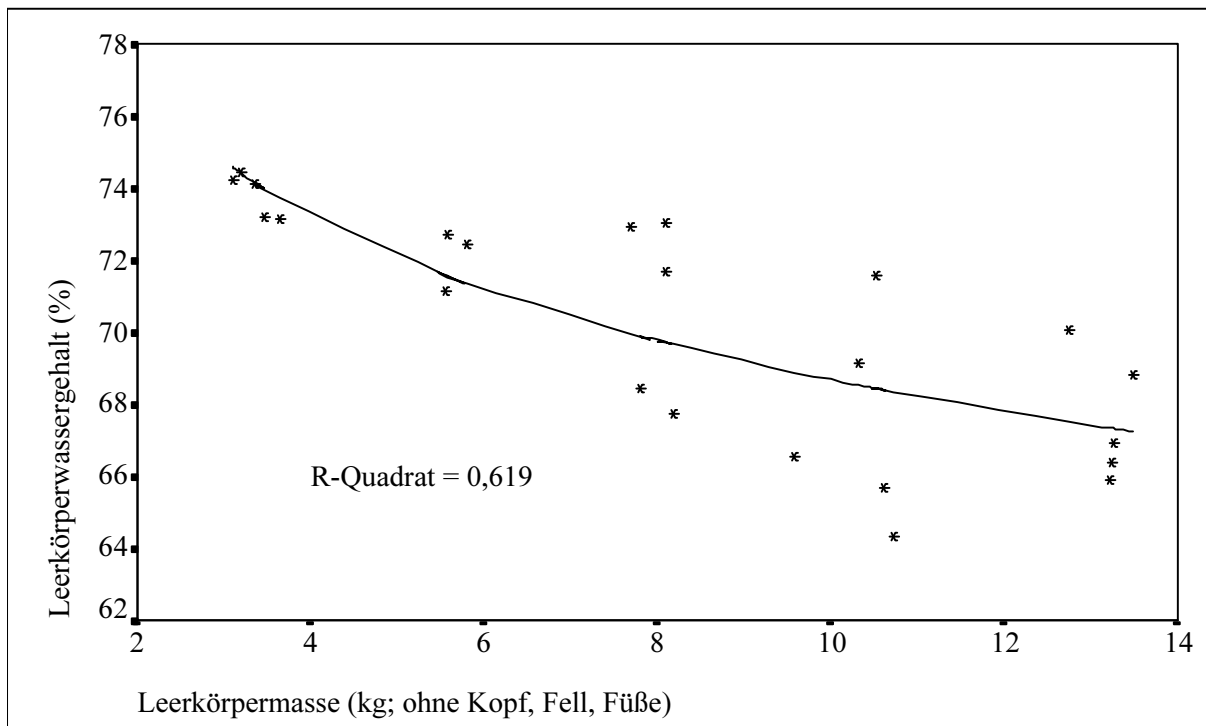


Abb. A 1: Leerkörperwassergehalt in Abhängigkeit von der Leerkörpermasse (n = 23; 1. Versuchsperiode)

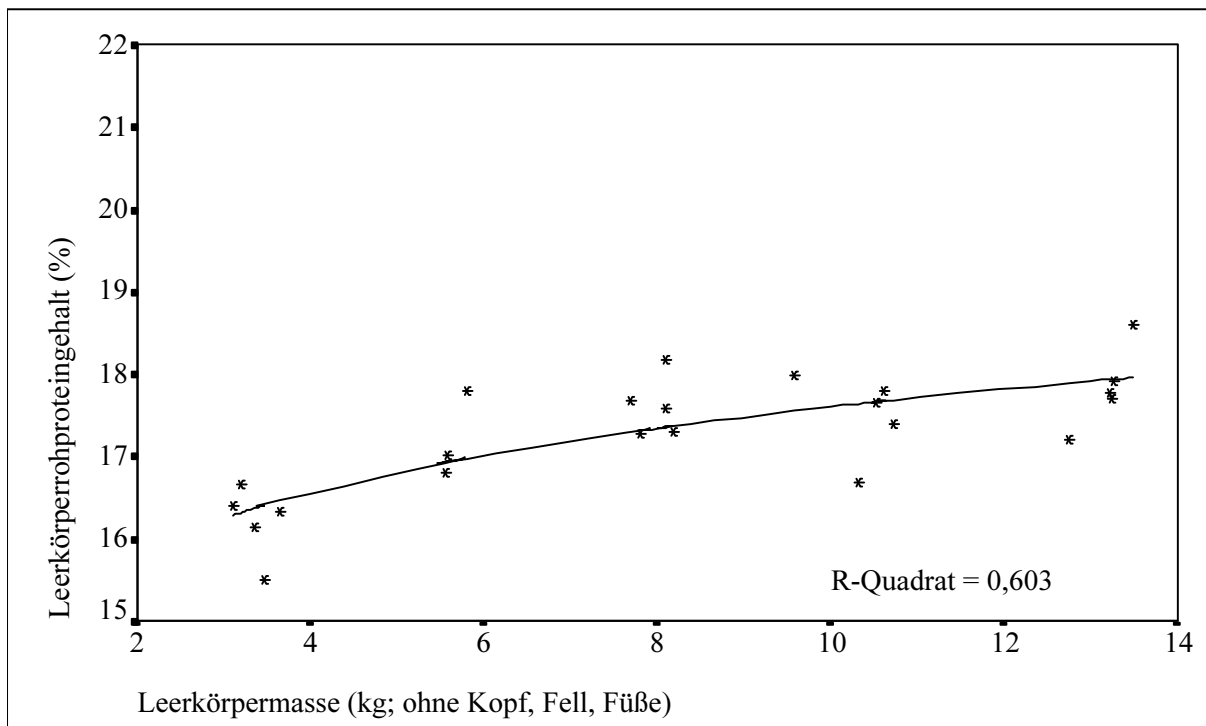


Abb. A 2: Leerkörperrohproteingehalt in Abhängigkeit von der Leerkörpermasse (n = 23; 1. Versuchsperiode)

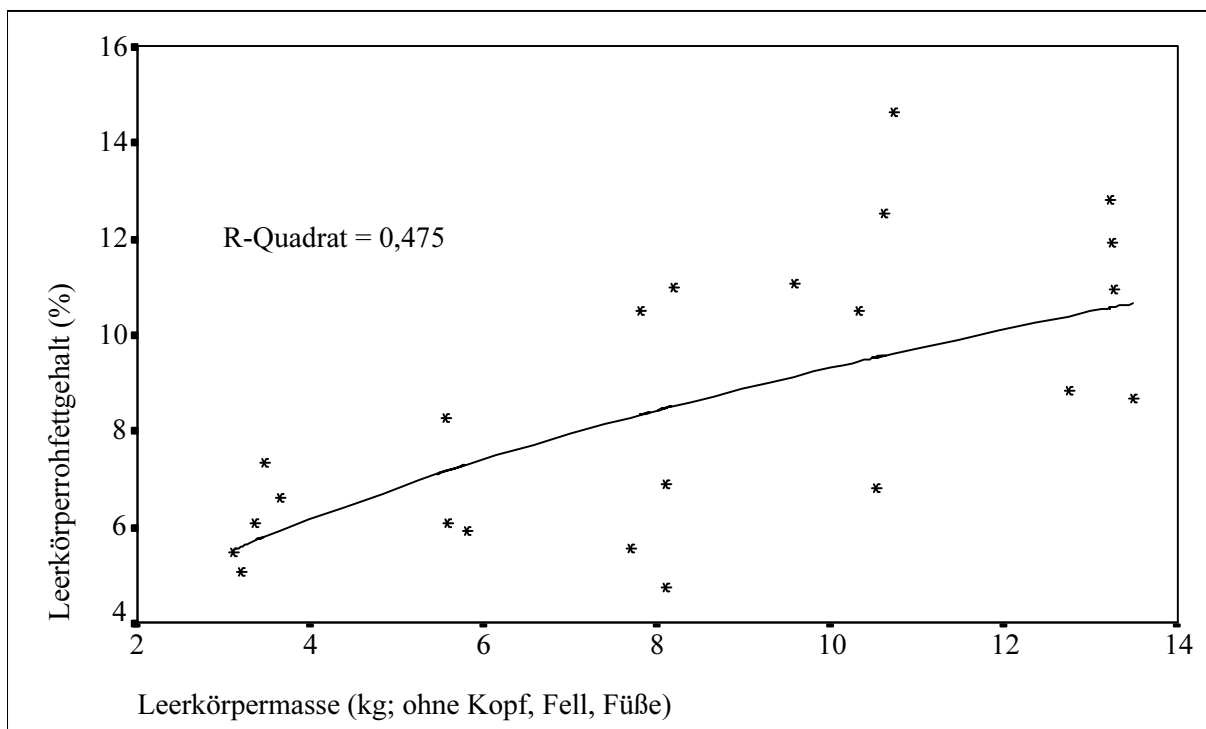


Abb. A 3: Leerkörperroh fettgehalt in Abhängigkeit von der Leerkörpermasse (n = 23; 1. Versuchsperiode)

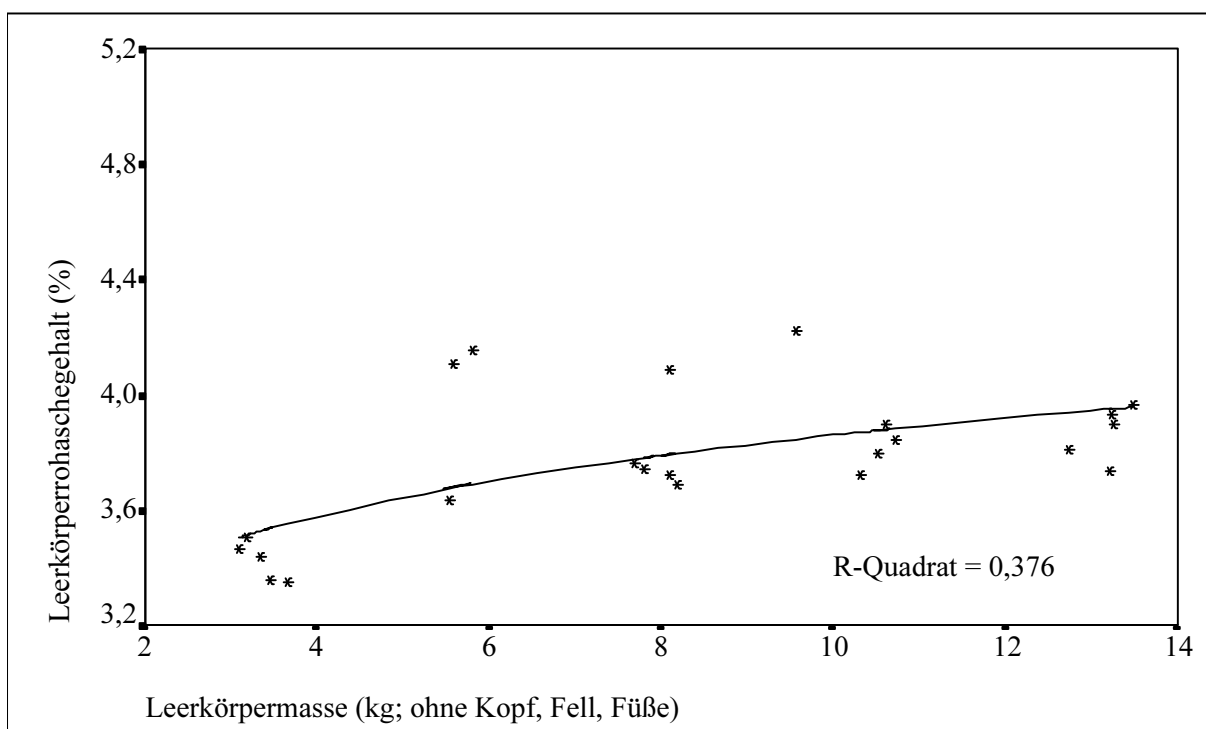


Abb. A 4: Leerkörperrohaschegehalt in Abhängigkeit von der Leerkörpermasse (n = 23; 1. Versuchsperiode)

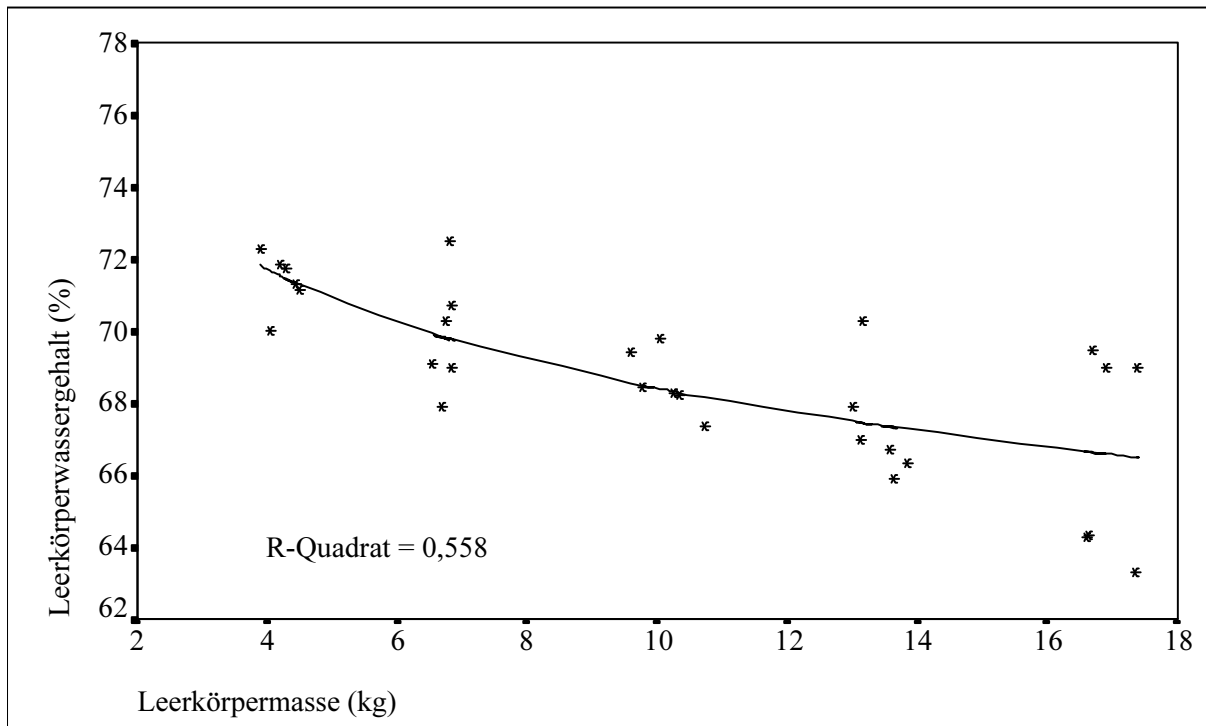


Abb. A 5: Leerkörperwassergehalt in Abhängigkeit von der Leerkörpermasse (n = 30; 2. Versuchsperiode)

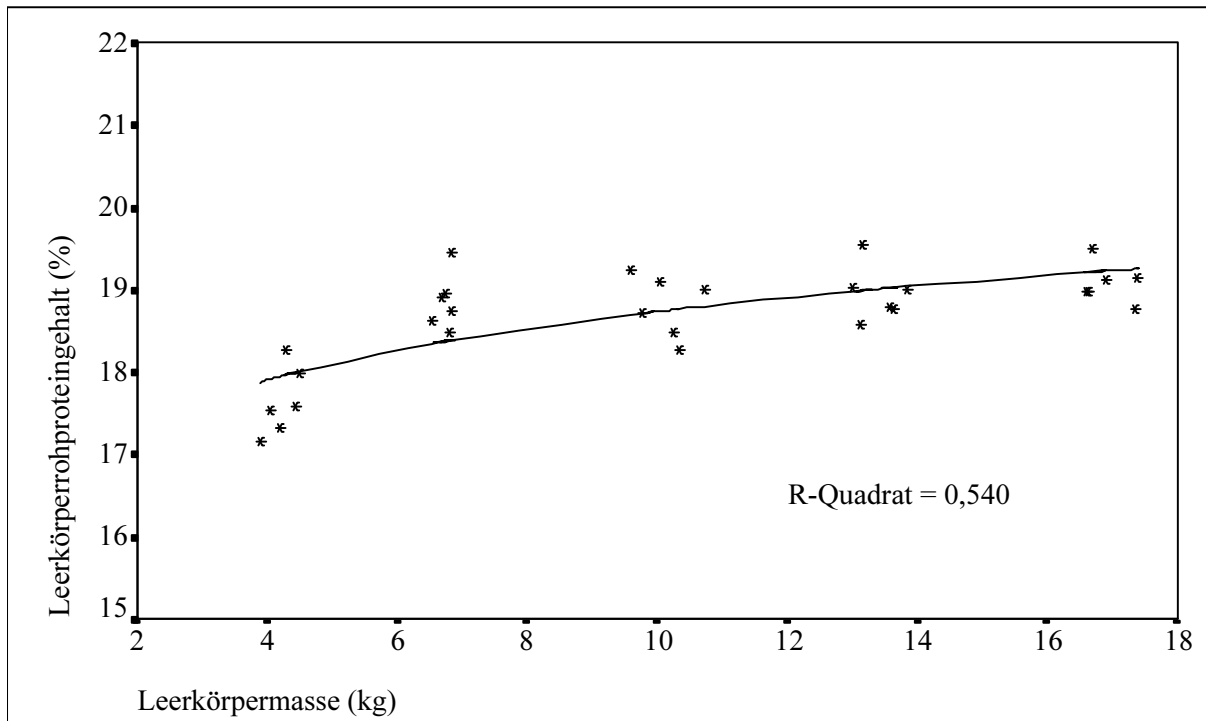


Abb. A 6: Leerkörperrohproteingehalt in Abhängigkeit von der Leerkörpermasse (n = 30; 2. Versuchsperiode)

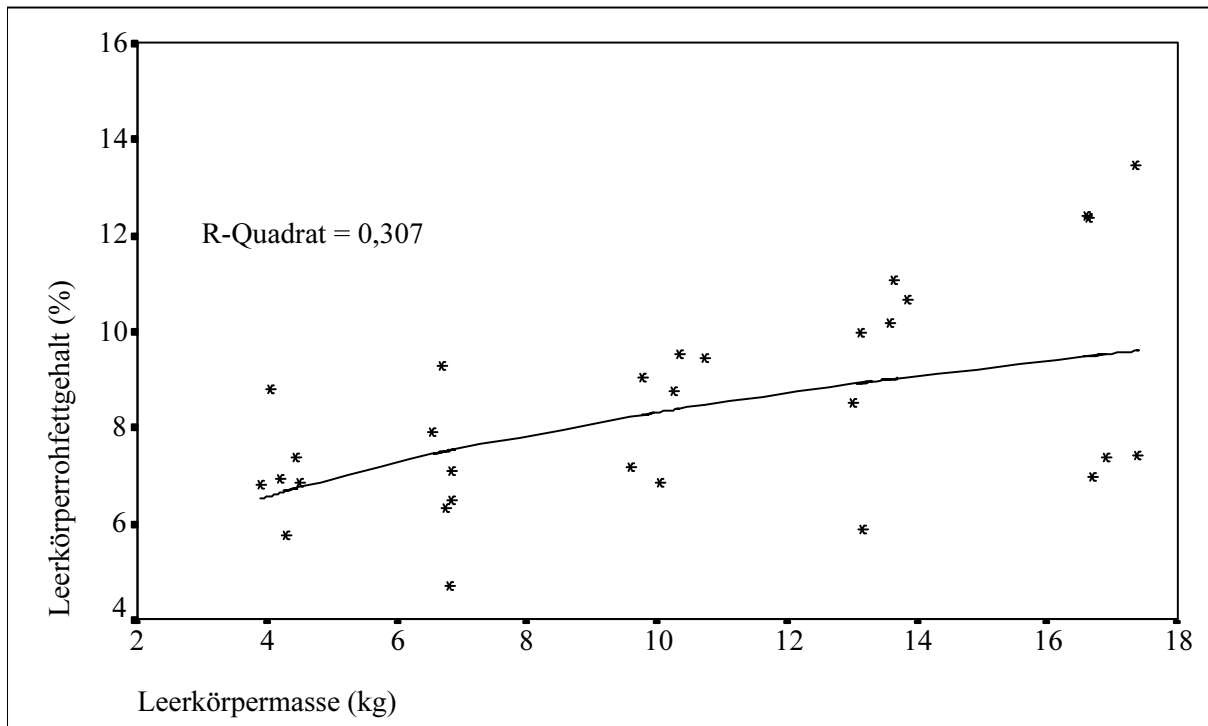


Abb. A 7: Leerkörperrohffettgehalt in Abhängigkeit von der Leerkörpermasse (n = 30; 2. Versuchsperiode)

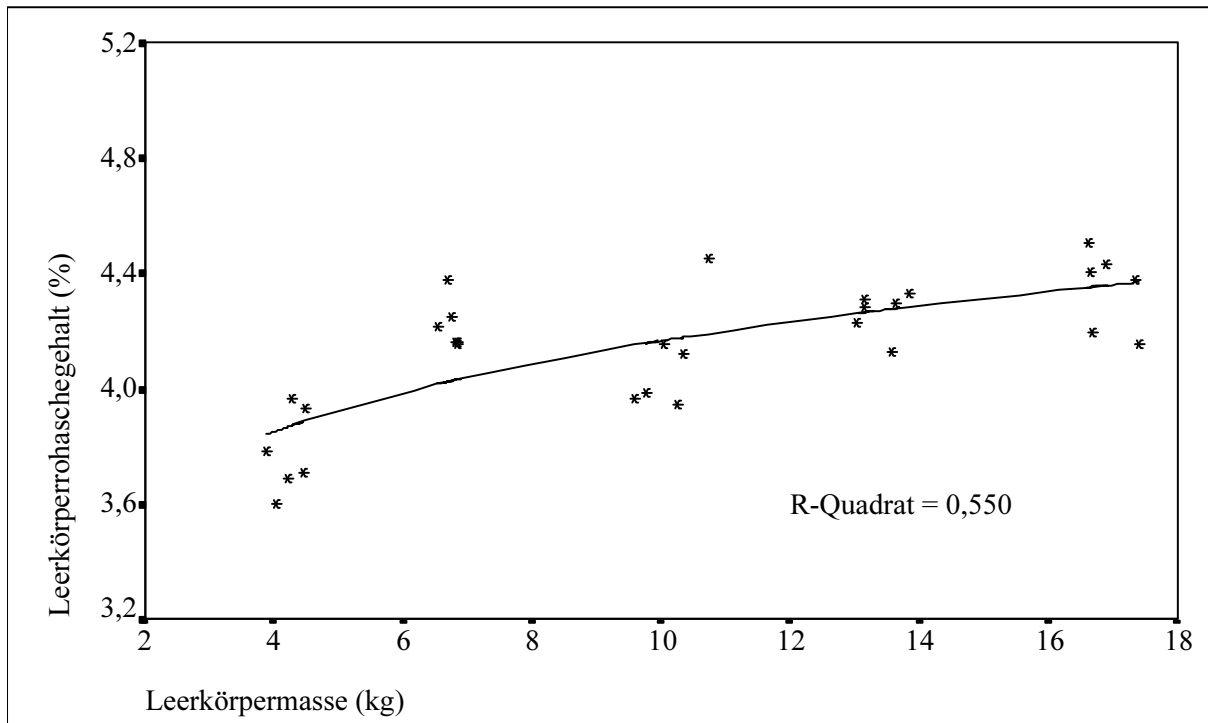


Abb. A 8: Leerkörperrohaschegehalt in Abhängigkeit von der Leerkörpermasse (n = 30; 2. Versuchsperiode)

Statistische Auswertungsergebnisse

Tabelle A 1: Ergebnis des t-Testes zum Prüfen von Mittelwertdifferenzen bei den mittleren Lebendmassen am Tag der D₂O-Injektion und am Tag der Schlachtung (n = 23; 1. Versuchsperiode)

Variationsursache	FG	t	P
Lebendmassen am Tag der D ₂ O- Injektion bzw. am Tag der Schlachtung	22	3,21	0,004 *

= signifikant ($\alpha = 0,05$); n.s. = nicht signifikant ($\alpha = 0,05$)

Tabelle A 2: Ergebnisse der Varianzanalyse zur Überprüfung des Einflusses der Leerkörpermasse und der täglichen Zunahmen auf die fetthaltige bzw. fettfreie Leerkörperzusammensetzung (n = 30; 2. Versuchsperiode)

Bestandteil	Variationsursache	FG	Mittlere Quadratsumme	F	P
Wassergehalt (fett-haltig)	Leerkörpermasse	4	17,547	6,418	0,001 *
	Tägliche Zunahmen	3	4,418	1,616	0,214 n.s.
	Rest	22	14,906		
Rohproteingehalt (fetthaltig)	Leerkörpermasse	4	1,294	10,841	< 0,001 *
	Tägliche Zunahmen	3	0,117	0,980	0,420 n.s.
	Rest	22	0,119		
Rohfettgehalt	Leerkörpermasse	4	9,357	2,959	0,043 *
	Tägliche Zunahmen	3	6,227	1,969	0,148 n.s.
	Rest	22	3,162		
Rohaschegehalt (fetthaltig)	Leerkörpermasse	4	0,172	8,784	< 0,001 *
	Tägliche Zunahmen	3	0,007	0,367	0,778 n.s.
	Rest	22	0,020		
Wassergehalt (fett-frei)	Leerkörpermasse	4	5,227	18,561	< 0,001 *
	Tägliche Zunahmen	3	0,150	0,533	0,664 n.s.
	Rest	22	0,282		
Rohproteingehalt (fettfrei)	Leerkörpermasse	4	2,936	15,239	< 0,001 *
	Tägliche Zunahmen	3	0,047	0,242	0,866 n.s.
	Rest	22	0,193		
Rohaschegehalt (fettfrei)	Leerkörpermasse	4	0,315	7,641	0,001 *
	Tägliche Zunahmen	3	0,019	0,468	0,707 n.s.
	Rest	22	0,041		

= signifikant ($\alpha = 0,05$); n.s. = nicht signifikant ($\alpha = 0,05$)

Tabelle A 3: Ergebnis des Mann-Whitney U-Testes zum Vergleich der Chymuswassergehalte zwischen beiden Versuchsperioden (n = 53)

Variationsursache	Z	P
Versuchsperiode	-0,969	0,333 n.s.

= signifikant ($\alpha = 0,05$); n.s. = nicht signifikant ($\alpha = 0,05$)

Tabelle A 4: Ergebnisse der Varianzanalyse zur Überprüfung des Einflusses der Veränderung der Nüchterungsdauer auf die Chymusmasse (n = 53)

Variationsursache	FG	Mittlere Quadrat-summe	F	P
Veränderung der Nüchterungsdauer von				
14 → 18 Stunden	} 2	0,194	3,912	0,054 n.s.
14 → 42 Stunden		0,280	5,646	0,021 *
18 → 42 Stunden		0,067	1,355	0,250 n.s.
Lebendmasse	1	28,741	289,798	< 0,001 *
Rest	49	0,099		

= signifikant ($\alpha = 0,05$); n.s. = nicht signifikant ($\alpha = 0,05$); $R^2 = 0,911$; RSD = 0,32; RCV = 17,70 %

Tabelle A 5: Ergebnisse des t-Testes zum Prüfen von Mittelwertdifferenzen bei den D₂O-Konzentrationen im Blutwasser der Parallelproben am Ende des dritten bis fünften Wachstumsabschnittes (1. Versuchsperiode)

Variationsursache	FG	t	P
D ₂ O-Konzentrationen im Blutwasser der Parallelproben am Ende des Wachstumsabschnittes			
• 3	14	1,05	0,312 n.s.
• 4	9	1,49	0,170 n.s.
• 5	4	1,24	0,284 n.s.

= signifikant ($\alpha = 0,05$); n.s. = nicht signifikant ($\alpha = 0,05$)

Tabelle A 6: Ergebnisse des t-Testes zum Prüfen von Mittelwertdifferenzen bei den D₂O-Konzentrationen im Blutwasser der Parallelproben am Ende des dritten bis fünften Wachstumsabschnittes (2. Versuchsperiode)

Variable	FG	t	P
D ₂ O-Konzentrationen im Blutwasser der Parallelproben am Ende des Wachstumsabschnittes			
• 3	17	0,28	0,785 n.s.
• 4	11	0,38	0,712 n.s.
• 5	5	1,98	0,105 n.s.

= signifikant ($\alpha = 0,05$); n.s. = nicht signifikant ($\alpha = 0,05$)

Tabelle A 7: Ergebnisse des t-Testes zum Prüfen von Mittelwertdifferenzen bei den D₂O-Konzentrationen im Blut- bzw. Chymuswasser (2. Versuchsperiode)

Variationsursache	FG	t	P
D ₂ O-Konzentrationen im Blut- bzw. Chymuswasser	28	-8,94	< 0,001 *

= signifikant ($\alpha = 0,05$); n.s. = nicht signifikant ($\alpha = 0,05$)

Tabelle A 8: Ergebnisse des t-Testes zum Prüfen von Mittelwertdifferenzen bei den Ganzkörperwassergehalten mittels gemessener bzw. theoretischer D₂O-Konzentration (2. Versuchsperiode)

Variationsursache	FG	F	P
Ganzkörperwassergehalt (gemessene bzw. theoretische Markerverteilung)	28	-8,23	< 0,001 *

= signifikant ($\alpha = 0,05$); n.s. = nicht signifikant ($\alpha = 0,05$)

Tabelle A 9: Ergebnisse des "Wilcoxon"-Testes zum Vergleich der D₂O-Konzentrationen im Blutwasser und Kot-Harn-Gemisch (KHG) am Ende des zweiten bis fünften Wachstumsabschnittes (1. und 2. Versuchsperiode)

Variationsursache	1. Versuchsperiode		2. Versuchsperiode	
	Z	P	Z	P
D ₂ O-Konzentrationen im Blutwasser bzw. KHG am Ende des Wachstumsabschnittes				
• 2	-3,621	< 0,001 *	-4,286	< 0,001 *
• 3	-3,408	0,001 *	-3,724	< 0,001 *
• 4	-2,803	0,005 *	-3,059	0,002 *
• 5	-2,023	0,043 *	-2,201	0,028 *

= signifikant ($\alpha = 0,05$); n.s. = nicht signifikant ($\alpha = 0,05$)

Tabelle A 10: Ergebnisse des t-Testes zum Prüfen von Mittelwertdifferenzen bei den Ganzkörperwassergehalten mittels D₂O mit bzw. ohne Berücksichtigung der D₂O-Verluste im KHG (1. und 2. Versuchsperiode)

Variationsursache	1. Versuchsperiode			2. Versuchsperiode		
	FG	t	P	FG	t	P
Ganzkörperwassergehalte mittels D ₂ O mit bzw. ohne Berücksichtigung der D ₂ O-Verluste im KHG	47	3,71	0,001 *	59	0,02	0,985 n.s.

= signifikant ($\alpha = 0,05$); n.s. = nicht signifikant ($\alpha = 0,05$)

Tabelle A 11: Ergebnisse des t-Testes zum Prüfen von Mittelwertdifferenzen bei den Ganzkörperwassermassen mittels D₂O mit bzw. ohne Berücksichtigung der D₂O-Verluste im KHG (1. und 2. Versuchsperiode)

Variationsursache	1. Versuchsperiode			2. Versuchsperiode		
	FG	t	P	FG	t	P
Ganzkörperwassermassen mittels D ₂ O mit bzw. ohne Berücksichtigung der D ₂ O-Verluste im KHG	47	-11,19	< 0,001 *	59	-9,79	< 0,001 *

= signifikant ($\alpha = 0,05$); n.s. = nicht signifikant ($\alpha = 0,05$)

Tabelle A 12: Ergebnisse des t-Testes zum Prüfen von Mittelwertdifferenzen bei den Ganzkörperwassergehalten mittels chemischer Analyse bzw. D₂O (1. und 2. Versuchsperiode)

Variationsursache	1. Versuchsperiode			2. Versuchsperiode		
	FG	t	P	FG	t	P
Ganzkörperwassergehalte mittels chemischer Analyse bzw. D ₂ O	22	-2,61	0,016 *	29	15,19	< 0,001 *

= signifikant ($\alpha = 0,05$); n.s. = nicht signifikant ($\alpha = 0,05$)

Tabelle A 13: Ergebnisse des t-Testes zum Prüfen von Mittelwertdifferenzen bei den Ganzkörperwassermassen mittels chemischer Analyse bzw. D₂O (1. und 2. Versuchsperiode)

Variationsursache	1. Versuchsperiode			2. Versuchsperiode		
	FG	t	P	FG	t	P
Ganzkörperwassermassen mittels chemischer Analyse bzw. D ₂ O	22	16,57	< 0,001 *	29	11,16	< 0,001 *

= signifikant ($\alpha = 0,05$); n.s. = nicht signifikant ($\alpha = 0,05$)

Tabelle A 14: Ergebnisse des "Wilcoxon"-Testes zum Vergleich der mittels chemischer Analyse bestimmten Leerkörperzusammensetzung zwischen den Tiergruppen (2. Versuchsperiode)

Gruppen	Wassergehalt		Rohproteingehalt		Rohfettgehalt		Rohaschegehalt	
	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P
1 und 2	-2,402	0,016 *	-2,882	0,004 *	-0,961	0,337 n.s.	-2,882	0,004 *
1 und 3	-2,882	0,004 *	-2,882	0,004 *	-2,562	0,010 *	-2,882	0,004 *
1 und 4	-2,882	0,004 *	-2,882	0,004 *	-2,722	0,007 *	-2,882	0,004 *
1 und 5	-2,882	0,004 *	-2,882	0,004 *	-2,882	0,004 *	-2,882	0,004 *
2 und 3	-2,562	0,010 *	-1,121	0,262 n.s.	-2,402	0,016 *	-0,480	0,631 n.s.
2 und 4	-2,882	0,004 *	-2,402	0,016 *	-2,562	0,010 *	-2,722	0,007 *
2 und 5	-2,882	0,004 *	-2,882	0,004 *	-2,882	0,004 *	-2,882	0,004 *
3 und 4	-2,242	0,025 *	-1,922	0,055 n.s.	-1,601	0,109 n.s.	-1,922	0,055 n.s.
3 und 5	-2,882	0,004 *	-2,882	0,004 *	-1,601	0,109 n.s.	-2,562	0,010 *
4 und 5	-0,801	0,423 n.s.	-2,082	0,037 *	-0,641	0,522 n.s.	-2,242	0,025 *

= signifikant ($\alpha = 0,05$); n.s. = nicht signifikant ($\alpha = 0,05$)

Tabelle A 15: Ergebnisse des "Wilcoxon"-Testes zum Vergleich der mittels D₂O bestimmten Leerkörperzusammensetzung zwischen den Tiergruppen (2. Versuchsperiode)

Gruppen	Wassergehalt		Rohproteingehalt		Rohfettgehalt		Rohaschegehalt	
	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P
1 und 2	-2,402	0,016 *	-2,722	0,007 *	-1,441	0,150 n.s.	-2,882	0,004 *
1 und 3	-2,882	0,004 *	2,882	0,004 *	-2,082	0,037 *	2,882	0,004 *
1 und 4	-2,882	0,004 *	2,882	0,004 *	2,242	0,025 *	2,882	0,004 *
1 und 5	2,882	0,004 *	-2,882	0,004 *	-2,402	0,016 *	-2,882	0,004 *
2 und 3	-2,082	0,037 *	-2,562	0,010 *	-0,961	0,337 n.s.	-2,882	0,004 *
2 und 4	-2,562	0,010 *	-2,882	0,004 *	-1,761	0,078 n.s.	-2,882	0,004 *
2 und 5	-2,882	0,004 *	-2,722	0,007 *	-1,281	0,200 n.s.	-2,882	0,004 *
3 und 4	-1,922	0,055 n.s.	-2,082	0,037 *	-1,441	0,150 n.s.	-2,722	0,007 *
3 und 5	-2,402	0,016 *	-1,601	0,109 n.s.	-0,641	0,522 n.s.	-2,882	0,004 *
4 und 5	-0,641	0,522 n.s.	0,641	0,522 n.s.	0,480	0,631 n.s.	-1,281	0,200 n.s.

* = signifikant ($\alpha = 0,05$); n.s. = nicht signifikant ($\alpha = 0,05$)

Eichkurven der bei der D₂O-Messung verwendeten Standards

Eichkurve für die erste Versuchsperiode

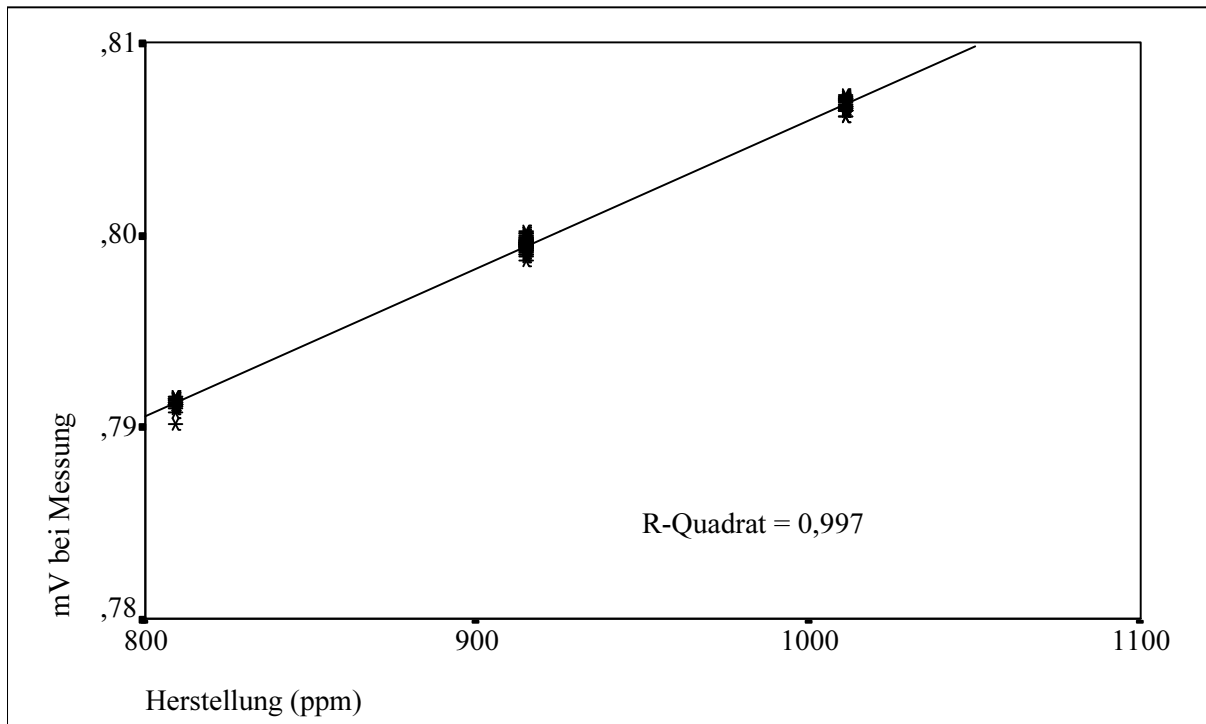


Abbildung A 9: Eichkurve für die verwendeten Standards in der 1. Versuchsperiode (n = 97; D₂O-Konzentration, ppm; mV)

Koeffizienten	Statistische Maße
$y = 0.729171 + 7.68140E-05 * x$	$R^2 = 0.997$; RSD = 3.1206E-04; RCV = 0,04 %
y = gemessene Spannung (mV); x = D ₂ O-Konzentration des Standards bei der Herstellung (ppm)	

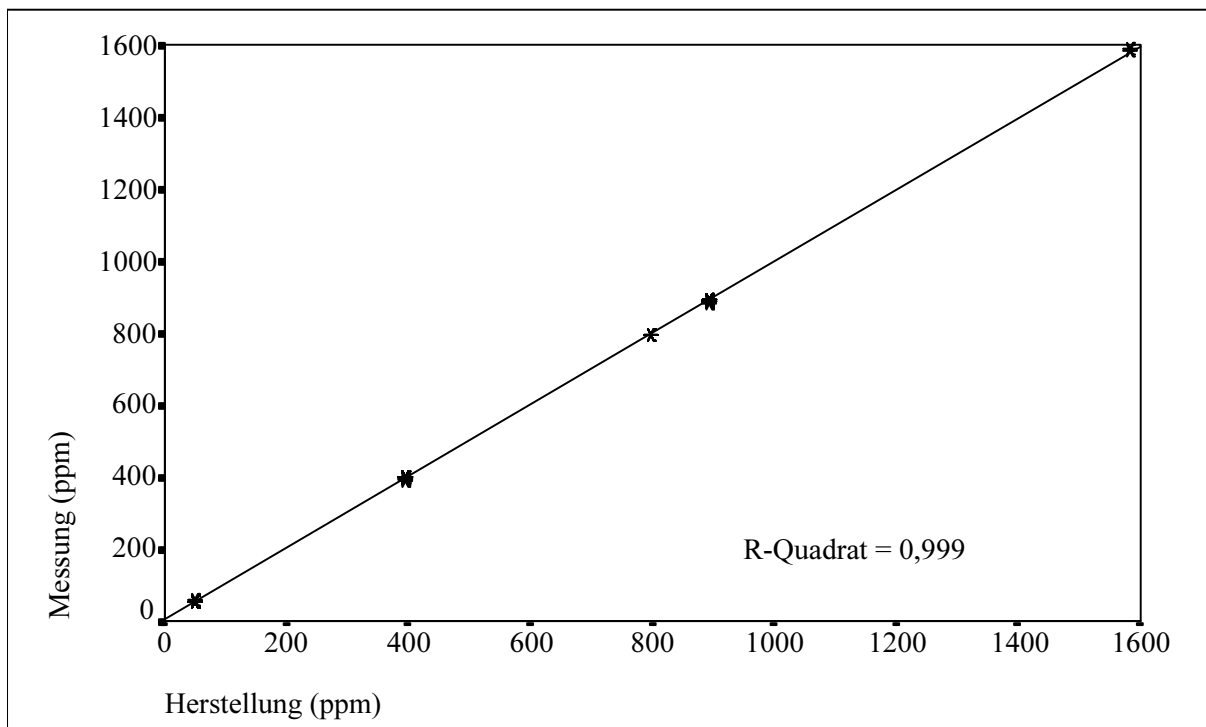
Eichkurve für die zweite Versuchsperiode

Abb. A 10: Eichkurve für die verwendeten Standards in der 2. Versuchsperiode (n = 160; D2O-Konzentration, ppm)

Koeffizienten		Statistische Maße
y = 5.790687 + 0.994729 * x		$R^2 = 0.999$; RSD = 2.2907; RCV = 0,38 %
y = gemessene Spannung (mV); x = D ₂ O-Konzentration des Standards bei der Herstellung (ppm)		

Beschreibung der Vorgehensweise bei der Markerinjektion (Description of the procedure of the marker injection)

1. Zu Beginn der Nüchterungszeit Futter und ggf. Stroh aus dem Käfig entfernen
2. Die vordere Halsregion des Tieres rasieren
3. Am Ende der Nüchterungszeit das Tier wiegen; Ablesegenauigkeit 50 g
4. Ggf. Maßnahmen zum Auffangen von Kot und Harn treffen
5. Die Wasserzufuhr zur Tränke abstellen und den Käfig trocken reinigen (ausfegen)
6. Eine 10 ml- oder 20 ml-Spritze einwiegen; dito für eine Plastikflasche mit Schraubverschluss für das Kot-Harn-Gemisch
7. Pro kg Lebendmasse 0,7 g D₂O (mind. 99,8 % Deuterierungsgrad; Fa. Merck, Darmstadt) in die 10 ml- oder 20 ml-Spritze einwiegen mit einer Wägegenauigkeit von 0,1 mg; Spritze verschließen
8. Eine 2 ml-Spritze mit physiologischer Kochsalz-Lösung (0,9 % NaCl) füllen
9. Injektionsstelle am Hals des Tieres desinfizieren
10. Kanüle eines „Vasuflo“-Perfusionsbesteckes (1,10 x 19 mm; Fa. Dispomed) in die Vena jugularis einsetzen
11. Das austretende Blut in zwei 10 ml-Blutprobenröhrchen („Sarstedt“-Probengefäße mit EDTA zur Verhinderung der Blutgerinnung) für die Bestimmung des Blindwertes auffangen; die Röhrchen verschließen und vorsichtig wenden
12. Den Perfusionsschlauch hochhalten, um einen weiteren Blutaustritt zu verhindern
13. Die Spritze mit dem D₂O vorsichtig, aber fest auf den Anschlussstopfen des Perfusionsschlauches setzen; darauf achten, dass kein Blut in die Spritze gelangt
14. D₂O langsam injizieren
15. Perfusionsschlauch am Anschlussstopfen knicken und die Spritze abnehmen; darauf achten, dass keine Flüssigkeit austritt
16. Spritze mit physiologischer Kochsalzlösung auf den Anschlussstopfen setzen und den Inhalt injizieren
17. Uhrzeit notieren
18. Leere D₂O-Spritze wiegen, um die tatsächlich injizierte D₂O-Menge zu errechnen

19. Perfusionsschlauch mit Kanüle entfernen; ggf. Tupfer auf die Einstichstelle drücken, bis die Blutung steht
20. Nach Ablauf der Wartezeit (4 Stunden für Tiere mit 4 oder 8 kg Lebendgewicht, 5 Stunden für Tiere mit 12, 16 oder 20 kg Lebendgewicht) Blut aus der Vena jugularis entnehmen (zwei Blutprobenröhrchen zu je 10 ml). Bei Tieren, die zur Schlachtung bestimmt sind, ein drittes Röhrchen befüllen für die Bestimmung der Bluttrockensubstanz. Röhrchen vorsichtig wenden
21. Blutprobenentnahme, wie beschrieben, nach dreißig Minuten wiederholen
22. Ausgeschiedenes Kot-Harn-Gemisch in die Plastikflasche mit Schraubverschluss füllen und wiegen, um die Masse des Kot-Harn-Gemisches zu erhalten
23. Blutprobenröhrchen und Flaschen mit dem Kot-Harn-Gemisch bis zur Sublimation einfrieren

Description of the procedure of the marker injection

1. At the beginning of the fastening time remove feed and straw from the crates
2. Shave the front region of the kid's neck
3. Weigh the animal at the end of the fastening time; precision of weighing 50 g
4. If necessary take measures in order to collect faeces and urine
5. Stop water supply and clean the crates dry (by sweeping)
6. Weigh a 10 ml or 20 ml syringe, also a plastic bottle with a screw plug for the faeces and urine
7. Weigh 0.7 g D₂O (degree of deuteration at least 99.8 %; company Merck, Darmstadt) per kg live weight in the 10 ml or 20 ml syringe with a precision of 0.1 mg; close the syringe
8. Fill a 2 ml syringe with physiologic salt solution (0.9 % NaCl)
9. Disinfect the injection site at the neck of the animal
10. Put a canula of a „Vasuflo“ perfusion set (1.10 x 19 mm; company Dispomed) into the vena jugularis

11. Collect the extravasating blood in two cannulas for blood samples each of 10 ml
(„Sarstedt“ sample vessels with EDTA in order to avoid coagulation) for the determination of the blind value; close the cannulas and turn them carefully
12. Raise the perfusion tube in order to avoid a further blood extravasation
13. Put the syringe with D₂O carefully but tight on the connection site of the perfusion tube; take care that no blood enters into the syringe
14. Inject the D₂O slowly
15. Bend the tube at the connection site and remove the syringe; take care that no liquid of the tube goes lost
16. Put the syringe with the physiologic salt solution on the connection site of the perfusion tube and inject the content
17. Note the time
18. Weigh the empty D₂O syringe in order to obtain the really injected mass of D₂O
19. Remove the perfusion tube with the canula; press a swab on the injection site until bleeding stops
20. After the end of the waiting time (4 hours for animals with live weights of 4 or 8 kg, 5 hours for animals with live weights of 12, 16 or 20 kg) take blood from the vena jugularis (two sample cannulas each of 10 ml). Fill a third cannula with blood of those animals being destined for slaughtering in order to determine the blood dry matter. Turn the cannulas carefully.
21. Take again blood samples as described after 30 minutes
22. Put the excreted faeces and urine into the plastic bottle with screw plug and weigh it in order to obtain the excreted mass
23. Freeze the blood samples and the bottles with the mixture of faeces and urine until sublimation

Zusammenstellung von Regressionsgleichungen zur Berechnung der Leerkörperzusammensetzung wachsender Ziegenlämmer im Gewichtsabschnitt von 4 kg bis 20 kg LM anhand der D₂O-Applikation (Compilation of regression equations to calculate the empty body composition of growing kids weighing 4 kg to 20 kg by the application of D₂O)

1. **Chymusmasse („CHYM“; kg):** $-0,8914 + 0,3148 * LM - 0,0051 * LM^2$
(„LM“ = Lebendmasse (kg))
2. **Chymuswassermasse („CHYH₂OM“; kg):** $-0,7798 + 0,2759 * LM - 0,0047 * LM^2$
3. **Leerkörpermasse („LKM“; kg):** „LM“ - „CHYM“
4. **Ganzkörperwassergehalt („GKH₂O“; %):**
 - $51,1291 + 0,2902 * „D_2O“$ (Gruppe 1, 4 kg - 5 kg LM)
 - $-7,6414 + 1,0613 * „D_2O“$ (Gruppen 2-5, 8 - 21 kg LM)(„D₂O“ : mittels D₂O geschätzter Ganzkörperwassergehalt, %)
5. **Leerkörperwassermasse („LKH₂OM“; kg):** „GKH₂O“ / 100 * „LM“ - „CHYH₂OM“
6. **Leerkörperwassergehalt („LKH₂O“; %):** „LKH₂OM“ / „LKM“ * 100
7. **Wassergehalt des fettfreien Leerkörpers („LKH₂OFF“; %):** $79,5501 * „LKM“ - 0,0263$
8. **Masse des fettfreien Leerkörpers („LKFFM“; kg):** „LKH₂OM“ * 100 / „LKH₂OFF“
9. **Rohfettmasse des Leerkörpers („LKXLM“; kg):** „LKM“ - „LKFFM“

10. Rohfettgehalt des Leerkörpers („LKXL“; %): „LKXLM“ / „LKM“ * 100
11. Rohproteingehalt des fettfreien Leerkörpers („LKXPFF“; %): 17,3010 * „LKM“^{0,0739}
12. Rohproteingehalt des Leerkörpers („LKXP“; %): „LKXPFF“ / „LKM“ * „LKFFM“
13. Rohaschegehalt des fettfreien Leerkörpers („LKXAFF“; %): 3,5386 * „LKM“^{0,1105}
14. Rohaschegehalt des Leerkörpers („LKXA“; %): „LKXAFF“ / „LKM“ * „LKFFM“
15. „Rest“-Gehalt des Leerkörpers („LXREST“; %): 100 - „LKH2O“ - „LKXL“ - „LKXP“ - „LKXA“

Compilation of regression equations to calculate the empty body composition of growing kids weighing 4 kg to 20 kg by the application of D₂O

1. Digesta mass („CHYM“; kg): $-0,8914 + 0,3148 * LM - 0,0051 * LM^2$
(„LM“ = Live weight (kg))
2. Digesta water mass („CHYH2OM“; kg): $-0,7798 + 0,2759 * LM - 0,0047 * LM^2$
3. Empty body mass („LKM“; kg): „LM“ - „CHYM“

4. **Water content of the total body („GKH2O“; %):**

- $51,1291 + 0,2902 * „D_2O“$ (Group 1, 4 kg - 5 kg LM)
- $-7,6414 + 1,0613 * „D_2O“$ (Group 2-5, 8 - 21 kg LM)

(„D₂O“: total body water estimated by D₂O, %)

5. **Water mass of the empty body („LKH2OM“; kg):** „GKH2O“ / 100 * „LM“ - „CHYH2OM“

6. **Water content of the empty body („LKH2O“; %):** „LKH2OM“ / „LKM“ * 100

7. **Water content of the fat-free empty body („LKH2OFF“; %):** $79,5501 * „LKM“ - 0,0263$

8. **Mass of the fat-free empty body („LKFFM“; kg):** „LKH2OM“ * 100 / „LKH2OFF“

9. **Crude fat mass of the empty body („LKXLM“; kg):** „LKM“ - „LKFFM“

10. **Crude fat content of the empty body („LKXL“; %):** „LKXLM“ / „LKM“ * 100

11. **Crude protein content of the fat-free empty body („LKXPFF“; %):** $17,3010 * „LKM“ - 0,0739$

12. **Crude protein content of the empty body („LKXP“; %):** „LKXPFF“ / „LKM“ * „LKFFM“

13. **Crude ash content of the fat-free empty body („LKXAFF“; %):** $3,5386 * „LKM“ - 0,1105$

14. **Crude ash content of the empty body („LKXA“; %):** „LKXAFF“ / „LKM“ * „LKFFM“

15. **„Remainder“ content of the empty body („LXREST“; %):** $100 - „LKH2O“ - „LKXL“ - „LKXP“ - „LKXA“$